

**БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ БЕЛОГО МОРЯ  
И ВНУТРЕННИХ ВОДОЕМОВ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА**

# **БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ БЕЛОГО МОРЯ И ВНУТРЕННИХ ВОДОЕМОВ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА**

**Материалы  
XXVIII международной  
конференции 5–8 октября 2009 г.,  
Петрозаводск**







**Institute of Biology**  
**Karelian Research Centre of RAS**



**Petrozavodsk State University,**  
**Petrozavodsk, Russia**

**The Program of Russian Academy of Sciences «Biological  
resource of Russia» 2009-2011**

**Scientific Council of Hydrobiology and Ichtiology of Russian  
Academy of Sciences**



**Zoological Institute of  
Russian Academy of Sciences,  
St. Petersburg, Russia**



**BIOLOGICAL RESOURCES OF THE WHITE SEA  
AND INLAND WATERS  
OF EUROPEAN NORTH**

**PROCEEDINGS OF THE  
XXVIII INTERNATIONAL CONFERENCE**

**October, 5–8, 2009  
Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russia**

**Petrozavodsk  
2009**



**ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ**  
КАРЕЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН



Петрозаводский государственный  
университет

Отделение биологических наук РАН  
Программа фундаментальных исследований на 2009–2011  
гг.: «Биологические ресурсы России: оценка состояния и  
фундаментальные основы мониторинга»

Научный совет РАН по гидробиологии и ихтиологии



Зоологический институт РАН



# **БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ БЕЛОГО МОРЯ И ВНУТРЕННИХ ВОДОЕМОВ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА**

МАТЕРИАЛЫ  
XXVIII МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

5–8 октября 2009 г.  
г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия

Петрозаводск  
2009



УДК 574,5(268,46)

**БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ БЕЛОГО МОРЯ И ВНУТРЕННИХ ВОДОЕМОВ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА**  
Материалы XXVIII Международной конференции 5–8 октября 2009 г. г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия –  
Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009 – 659 с.

ISBN 978-5-9274-377-6

В сборник включены материалы XXVIII Международной конференции «Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера». Приводятся сведения о состоянии Белого моря, водоемов Европейского Севера и их биологических ресурсов. Рассмотрены такие вопросы, как: флора и фауна естественных и трансформированных экосистем, структура и динамика популяций, экология, физиология и биохимия водных организмов, последствия влияния природных и антропогенных факторов на биоресурсы водоемов, методы оценки трансформации экосистем, биологические основы промысла и рыбного хозяйства, рациональное природопользование, сохранение биоразнообразия северных экосистем.

---

*Конференция проведена при поддержке:  
Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 09-04-06099-г  
Гранта Президента РФ «Ведущие научные школы России» № НШ-306.2008.4*

© Коллектив авторов, 2009  
© Учреждение Российской академии наук Институт биологии Карельского научного центра РАН, 2009  
© Петрозаводский государственный университет, 2009

**BIOLOGICAL RESOURCES OF THE WHITE SEA AND INLAND WATERS OF EUROPEAN NORTH**  
Proceedings of the XXVIII International Conference October, 5–8, 2009 Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russia –  
Petrozavodsk: KRC RAS, 2009 – 650 p.

ISBN 978-5-9274-377-6

The edition presented articles contributed to XXVIII International Conference «Biological Resources of the White Sea and Inland Waters of the European North». Materials include data about condition of flora and fauna of natural and transformed ecosystems, structure and dynamics of populations, ecology, physiology and biochemistry of hydrobionts, pollutions of aquatic ecosystems, fishery, social and economic perspectives of the development of the White Sea and inland water bodies of European North.

---

*The conference has been supported by:  
Russian Fund for Basic Research № 09-04-06099-г  
The Program of the Russian Federation President «Leading Scientific Schools of Russia» № 306.2008.4*

© Composite authors, 2009  
© Institute of Biology, Karelian Research Centre, RAS, 2009  
© Petrozavodsk State University, 2009



## СОДЕРЖАНИЕ

М.Ю. Алексеев, В.А. Неличик, И.В. Самохвалов, С.И. Долотов, С.С. Крылова, А.В. Зубченко <b>СОСТОЯНИЕ ПРЕСНОВОДНЫХ БИОЦЕНОЗОВ В РАЙОНЕ ОСВОЕНИЯ ШТОКМАНОВСКОГО ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ .....</b>	21
Т.А. Алексеева, И.Г. Владимирова <b>ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБМЕНА АМФИБИОНТОВ .....</b>	24
А.М. Андреева <b>РОЛЬ ОЛИГОМЕРНЫХ БЕЛКОВ ПЛАЗМЫ КРОВИ В СТАБИЛИЗАЦИИ ВОДНОГО ОБМЕНА КОСТИСТЫХ РЫБ .....</b>	27
А.М. Андреева, И.П. Рябцева, В.В. Лукьяненко <b>АДАПТАЦИИ ДЫХАТЕЛЬНОЙ ФУНКЦИИ КРОВИ У ПРЕСНОВОДНЫХ КОСТИСТЫХ РЫБ .....</b>	33
А.П. Андреева, А.В. Семенова, А.К. Карпов <b>НЕКОТОРЫЕ ПОДХОДЫ К ВОПРОСУ РАСОВОЙ ПОДРАЗДЕЛЕННОСТИ БЕЛОМОРСКОЙ СЕЛЬДИ (<i>CLUPEA PALLASI MARIS-ALBI BERG</i>) .....</b>	39
Л. В. Аникиева, Е. П. Иешко <b>МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПАРАЗИТА СИГОВЫХ РЫБ ЦЕСТОДЫ <i>PROTEOCERPHALUS LONGICOLLIS</i> (<i>PROTEOCERPHALIDAE</i>) В УСЛОВИЯХ ТРАНСФОРМАЦИИ ВОДНЫХ СООБЩЕСТВ .....</b>	43
Е.С. Аракелова <b>ЭФФЕКТ МАССЫ И ТЕМПЕРАТУРЫ НА СКОРОСТЬ ОБМЕНА У НЕКОТОРЫХ ЛИТОРАЛЬНЫХ АМФИПОД .....</b>	46
О.Н. Артаев, А.Б. Ручин <b>ТРОФИЧЕСКИЕ НИШИ СИНТОПИЧЕСКИ ОБИТАЮЩИХ ВИДОВ ПЕСКАРЕЙ (<i>GOBIO GOBIO</i> И <i>ROMANOGOBIO ALBIPINNATUS</i>) .....</b>	50
В.С. Артамонова, А.А. Махров <b>ГЕНОФОНД АТЛАНТИЧЕСКОГО ЛОСОСЯ РУССКОГО СЕВЕРА: ИСТОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ, АДАПТИВНОЕ ЗНАЧЕНИЕ, ПУТИ СОХРАНЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ (ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ) .....</b>	53
М.И. Базаров, М.И. Малин <b>ОСОБЕННОСТИ ПЕЛАГИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЫБНОГО НАСЕЛЕНИЯ РУСЛОВЫХ УЧАСТКОВ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА.....</b>	58
С.Н. Баккал <b>НОВЫЕ ДАННЫЕ О ВОДНЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ БЕЛОГО МОРЯ В ПИТАНИИ ЛЕСНЫХ ПТИЦ .....</b>	60
А.В. Барсова, А.А. Бабий <b>ДИНАМИКА НЕКОТОРЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИХТИОФАУНЫ ВОДЛОЗЕРА (КАРЕЛИЯ) .....</b>	63
И.А. Барышев, В.И. Кухарев, А.Н. Круглова <b>ВЛИЯНИЕ ПРОТОЧНОГО ОЗЕРА НА СТРУКТУРУ ЗООБЕНТОСА РЕКИ (НА ПРИМЕРЕ оз. КЕДРОЗЕРА, р. ЛИЖМЫ, БАССЕЙНА ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА) .....</b>	66
И.Н. Бахмет, Р.Э. Здоровенов, И.М. Примаков <b>ВОЗМОЖНОСТЬ ЗАВИСИМОСТИ ВАРЬИРОВАНИ СЕРДЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ <i>MYTILUS EDULIS</i> L. И <i>MODIOLUS MODIOLUS</i> L. ОТ ФЛУКТУАЦИЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ .....</b>	72
Т.А. Белевич <b>ПРОДУКЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФИТОПЛАНКТОНА БЕЛОГО МОРЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИСТОЧНИКА АЗОТА .....</b>	75
Т.А. Белевич, В.А. Осипов <b>ПАРАМЕТРЫ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ БЕЛОМОРСКОГО ФИТОПЛАНКТОНА ПРИ РАЗНЫХ ИСТОЧНИКАХ АЗОТА .....</b>	80
Е.Г. Берестовский, И.А.Ерохина <b>ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЩУК ТУНДРОВЫХ И ЛЕСОТУНДРОВЫХ ОЗЕР КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА .....</b>	84
В.В. Богдан, Г.А. Шкляревич, Т.Р. Руоколайнен, Л.В. Маркова <b>ВЛИЯНИЕ РАЗНОЙ СОЛЕНОСТИ НА ЛИПИДЫ АМФИПОД БЕЛОГО МОРЯ .....</b>	90



В.В. Большаков, А.М. Андреева <b>ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ГЕМОГЛОБИНА <i>CHIRONOMUS PLUMOSUS</i> (L.)</b> .....	93
В.В. Большаков, Н.А. Шобанов <b>КАРИОФОНДЫ ПОПУЛЯЦИЙ <i>CHIRONOMUS PLUMOSUS</i> L. (DIPTERA, CHIRONOMIDAE) В ПРИБРЕЖЬЕ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И ЕГО ПРИТОКАХ</b> .....	97
Е.В. Борвинская, Л.П. Смирнов, И.В. Суховская <b>ТКАНЕСПЕЦИФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АКТИВНОСТИ ГЛУТАТИОН-S-ТРАНСФЕРАЗЫ У СИГОВ</b> .....	99
Л.Г. Буторина <b>ВЛИЯНИЕ СЕЗОННО-ЦИКЛИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ДОЛГОТЫ СВЕТОВОГО ДНЯ НА ЧИСЛЕННОСТЬ И СОСТАВ ПОПУЛЯЦИИ <i>POLYPHEMUS PEDICULUS</i> (CRUSTACEA: CLADOCERA)</b> .....	102
Е.В. Варгот <b>ФЛОРА ВОДОЕМОВ И ВОДОТОКОВ ЛЕВОБЕРЕЖЬЯ РЕКИ АЛАТЫРЬ НА ПРИМЕРЕ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «СМОЛЬНЫЙ»</b> .....	108
А. Е. Веселов, Д.С. Павлов, К.Р. Приммер, С.М. Калюжный, Я.И. Лумме, М.И. Сысоева <b>ЛОСОСЕВЫЕ НЕРЕСТОВЫЕ РЕКИ ВОСТОЧНОЙ ФЕННОСКАНДИИ</b> .....	111
И.Г. Владимирова, Л.И. Радзинская, Т.А. Алексеева, С.Ю. Клейменов <b>ДИНАМИКА ВОДНОГО И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБМЕНА В РАННЕМ ОНТОГЕНЕЗЕ ЗЕЛЁНОЙ ЖАБЫ <i>BUFO VIRIDIS</i></b> .....	116
Р.У. Высоцкая, В.С. Амелина, Н.К. Шустова <b>ИЗУЧЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОМПОНЕНТОВ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ НА АКТИВНОСТЬ ФЕРМЕНТОВ СЕГОЛЕТОК СЕМГИ (<i>SALMO SALAR</i> L.)</b> .....	120
Р.У. Высоцкая, В.С. Амелина, И.Н. Бахмет <b>ВЛИЯНИЕ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА АКТИВНОСТЬ ЛИЗОСОМАЛЬНЫХ ФЕРМЕНТОВ МИДИЙ В АКВАРИАЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ</b> .....	123
К.В. Галактионов, К.Е. Николаев, В.В. Прокофьев, И.А. Левакин <b>СЕЗОННО-ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ТРАНСМИССИИ ПАРАЗИТОВ В ПРИБРЕЖЬЕ БЕЛОГО МОРЯ</b> .....	126
В.П. Гандзюра, Л.А., Гандзюра <b>ОСОБЕННОСТИ МЕТАБОЛИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ РЫБ В УСЛОВИЯХ РАЗНОГО УРОВНЯ ТОКСИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДОЕМОВ</b> .....	129
Э.В. Гарин <b>ДИНАМИЧНОСТЬ СОСТАВА ФЛОРЫ КОПАНЕЙ</b> .....	134
П.Е. Гарлов, Д.К. Дирин, В.П. Шведов <b>БИОТЕХНИКА ВОСПРОИЗВОДСТВА И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОХРАНЕНИЮ ПОПУЛЯЦИЙ ЦЕННЫХ ВИДОВ ПРОМЫСЛОВЫХ РЫБ</b> .....	138
Ю.В. Герасимов, М.Н. Иванова, А.С. Стрельников <b>ДИНАМИКА ПЕЛАГИЧЕСКИХ СКОПЛЕНИЙ РЫБ И ИЗМЕНЕНИЯ В СОСТАВЕ ПИЩИ ОКУНЕВЫХ НА РАЗНЫХ ЭТАПАХ ФОРМИРОВАНИЯ ИХТИОФАУНЫ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА (1950-2008)</b> .....	142
А.В. Герасимова, Е.К. Кузнецова <b>О МНОГОЛЕТНЕЙ СТАБИЛЬНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКРОБЕНТОСА НА УЧАСТКЕ ВЕРХНЕЙ СУБЛИТОРАЛИ В РАЙОНЕ КЕРЕТСКОГО АРХИПЕЛАГА (БЕЛОЕ МОРЕ)</b> .....	145
В.К. Голованов <b>ТЕМПЕРАТУРНЫЕ КРИТЕРИИ ДЛЯ ПРЕСНОВОДНЫХ РЫБ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ</b> .....	148
И.Л. Голованова <b>ГИДРОЛИЗ УГЛЕВОДОВ У РЫБ С РАЗЛИЧНЫМ НАКОПЛЕНИЕМ РТУТИ В ОРГАНИЗМЕ</b> .....	153
И.Л. Голованова, А.А. Филиппов, Е.С. Бродский, А.А. Шелепчиков, Д.Б. Фешин <b>ЭФФЕКТИВНОСТЬ АССИМИЛЯЦИИ УГЛЕВОДОВ И СОДЕРЖАНИЕ ПОЛИХЛОРИРОВАННЫХ БИФЕНИЛОВ У ЛЕЩА РАЗЛИЧНЫХ ПЛЕСОВ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА</b> .....	156



Ю.В. Гончаров <b>ПРИБРЕЖНОЕ РЫБОЛОВСТВО СОЛОВЕЦКОГО АРХИПЕЛАГА, ИСТОРИЯ, СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ВОЗМОЖНОСТИ</b> .....	158
И.Л.Григорьева, А.Б. Комиссаров <b>СОСТОЯНИЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ И СООБЩЕСТВ ФИТОПЛАНКТОНА ОЗЕРА БОЛОГЕ В УСЛОВИЯХ СЕЛИТЕБНОГО И ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ</b> .....	163
Ю.И. Губелит, В.Н. Никулина <b>СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ АЛЬГОЦЕНОЗОВ ОЗЕРА КРИВОГО (ББС ЗИН РАН)</b> .....	167
А. В. Гудков, А. О. Смуров, Ю. И. Подлипаева <b>ИЗМЕНЕНИЕ УРОВНЯ СОДЕРЖАНИЯ БТШ70 В КЛЕТКАХ ПРЕСНОВОДНЫХ И ЭВРИГАЛИННЫХ ИНФУЗОРИЙ И АМЕБ ПРИ ИХ АДАПТАЦИИ К ИЗМЕНЕНИЮ СОЛЕННОСТИ СРЕДЫ</b> .....	171
П.А. Гуричев <b>МОРФОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СИГА (<i>COREGONUS LAVARETUS</i> L.) БАСЕЙНА ГУБЫ ЧУПА БЕЛОГО МОРЯ</b> .....	176
Г.А. Дворянкин <b>ПОПУЛЯЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЯПУШКИ КЕНОЗЕРСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА</b> .....	179
Л.Л. Демина, Д.М. Мартынова, К.В. Подлесных <b>БИОАККУМУЛЯЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ РАЗЛИЧНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ ЭКОСИСТЕМЫ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ</b> .....	183
И.М. Дзюбук <b>ЛЕЩ ОЗЕР КАРЕЛИИ (ОЗ.СЯМОЗЕРО, ВЕДЛОЗЕРО, КОНЧЕЗЕРО)</b> .....	188
Г.Н. Доровских, В.Г. Степанов <b>СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА СТРУКТУРЫ СООБЩЕСТВ ПАРАЗИТОВ ЕРША <i>GYMNOCEPHALUS CERNUUS</i> (LINNAEUS, 1758)</b> .....	1912
Е.А. Дорофеева <b>МОРФОБИОЛОГИЧЕСКИЕ АДАПТАЦИИ ГОРБУШИ В БЕЛОМ МОРЕ</b> .....	195
Т.Н. Дякина, В.В. Королев, Ю.С. Решетников <b>ИЗМЕНЕНИЯ В СОСТАВЕ РЫБНОГО НАСЕЛЕНИЯ ВОДОЕМОВ КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ ЗА ПОСЛЕДНИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ</b> .....	202
Н.В. Евсеева <b>РАСПРОСТРАНЕНИЕ МОНОГЕНЕИ <i>GYRODACTYLUS SALARIS</i> В САДКОВОЙ АКВАКУЛЬТУРЕ КАРЕЛИИ</b> .....	206
Е.А. Елисеева <b>СОСУЩЕСТВОВАНИЕ ТАКИХ БЕЛОМОРСКИХ МОРСКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ, КАК БЕЛУХИ (<i>DELPHINAPTERUS LEUCAS</i>), МОРСКИЕ ЗАЙЦЫ (<i>ERIGNATUS BARBATUS</i>) И КОЛЬЧАТЫЕ НЕРПЫ (<i>PUSA PHISPIDA</i>) В ГУБЕ ЧУПА КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ В ЛЕТНЕ-ОСЕННИЙ НАГУЛЬНЫЙ ПЕРИОД</b> .....	209
И.А. Ерохина <b>ВОЗРАСТНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ БИОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КРОВИ БЕЛОМОРСКИХ ГРЕНЛАНДСКИХ ТЮЛЕНЕЙ</b> .....	212
Л.С. Житина, Л.В. Ильяш <b>СОСТАВ КРИОФЛОРЫ ПРИБРЕЖНЫХ ЛЬДОВ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ</b> .....	216
Е.А. Жуковская <b>О ГЕНЕТИЧЕСКОМ И МОРФОЛОГИЧЕСКОМ РАЗНООБРАЗИИ <i>MYTILUS EDULIS</i> КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ</b> .....	221
М.И. Задевалова <b>ПОПУЛЯЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БОКОПЛАВОВ В ЛИТОРАЛИ ГУБЫ ЧУПА (БЕЛОЕ МОРЕ)</b> .....	225
А.Б. Захаров, Э.И. Бознак <b>ВЛИЯНИЕ ОСВОЕНИЯ БОКСИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА РЫБНОЕ НАСЕЛЕНИЕ ВОДОТОКОВ ТИМАНА</b> .....	228
А.В. Зубченко, И.В.Самохвалов, Д.О.Кузьмин <b>НЕРЕСТОВО-ВЫРОСТНОЙ ФОНД И СОСТОЯНИЕ ВОСПРОИЗВОДСТВА ЛОСОСЯ (<i>SALMO SALAR</i>) В МАЛЫХ РЕКАХ КУТОВОЙ ЧАСТИ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА</b> .....	232

М.Н. Иванова, А.Н. Свирская <b>О ПРОЯВЛЕНИИ КОМПЕНСАЦИОННОГО РОСТА У МОЛОДИ ЦУКИ <i>ESOX LUCIUS</i></b> .....	240
Д.Д. Казакова <b>АСИММЕТРИЯ ПАРНЫХ СТРУКТУР ОБЫКНОВЕННОГО ГОЛЬЯНА НЕКОТОРЫХ ВОДОТОКОВ БАССЕЙНОВ РЕК ПЕЧОРА И ВЫЧЕГДА</b> .....	244
Н.М. Калинин, Н.А. Белкина, Т.Н. Полякова, М.Т. Сярки <b>НОВЫЙ ИНДЕКС ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ СООБЩЕСТВ МАКРОЗООБЕНТОСА ГЛУБОКОВОДНЫХ РАЙОНОВ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА</b> .....	247
Н.М. Калинин, М.Т. Сярки, Е.В. Теканова, Т.А. Чекрыжева, Т.М. Тимакова, Т.Н. Полякова, А.В. Рябинкин <b>ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КОРМОВОЙ БАЗЫ РЫБ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА</b> .....	252
Н. П. Канцерова, Л. А. Лысенко, Н. Н. Немова, В. В. Осташкова <b>ВЛИЯНИЕ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА ВНУТРИКЛЕТОЧНЫЕ <math>Ca^{2+}</math>-ЗАВИСИМЫЕ ПРОТЕИНАЗЫ <i>MYTILUS EDULIS</i> L. В ЭКСПЕРИМЕНТАХ <i>IN VITRO</i> И <i>IN VIVO</i></b> .....	257
Д.С. Капшай, В.К. Голованов <b>ТЕРМОПРЕФЕРЕНДУМ МОЛОДИ КАРПОВЫХ И ОКУНЕВЫХ ВИДОВ РЫБ ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ</b> .....	262
А.Б. Карасев, С.В. Пономарев, О.С. Еременко <b>ПАРАЗИТОФАУНА ЕВРОПЕЙСКОЙ КОРЮШКИ <i>OSMERUS EPERLANUS</i> НЕКОТОРЫХ ИЗОЛИРОВАННЫХ ОЗЕРНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ СЕВЕРО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ</b> .....	266
А.О. Касумян, Е.А. Марусов <b>ВКУСОВЫЕ РЕАКЦИИ КЕРЧАКА <i>MYOXOCERPHALUS SCORPIUS</i> И ПОЛЯРНОЙ КАМБАЛЫ <i>LIOPSETTA GLACIALIS</i></b> .....	269
Н.В. Климовский <b>СОДЕРЖАНИЕ НЕФТЕУГЛЕВОДОРОДОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ В ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНАХ ЮЖНОЙ ЧАСТИ НОВОЙ ЗЕМЛИ</b> .....	272
М.Н. Кожин <b>К ЭКОЛОГИИ ПРИМОРСКИХ ОСОК (<i>CAREX</i> L) КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ</b> .....	275
А.К. Козьмин <b>РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЫБНЫХ ЗАПАСОВ ОЗЕРА ЛАЧА В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО ЗАРАСТАНИЯ МАКРОФИТАМИ</b> .....	280
Е.Г. Колосова, Л.В. Ильяш <b>КРИОФАУНА ЛЬДОВ ПРОЛИВА ВЕЛИКАЯ САЛМА КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ</b> .....	285
В.Т.Комов, В.А.Гремячих, П.Н. Ершов <b>СРАВНИТЕЛЬНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РТУТИ В МЫШЦАХ РЫБ ВОДОЕМОВ СЕВЕРА ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ (КАНДАЛАКШСКИЙ ЗАЛИВ БЕЛОГО МОРЯ)</b> .....	289
Н.И. Комова <b>ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НЕКОТОРЫХ КАРПОВЫХ РЫБ В ПРЕДНЕРЕСТОВЫЙ ПЕРИОД</b> .....	292
С.Ф. Комулайнен, А.Н. Круглова, И.А. Барышев <b>СОСТОЯНИЕ ГИДРОБИОЦЕНОЗОВ РЕК ПОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ БЕЛОГО МОРЯ</b> .....	297
А.В. Костарева <b>ДИНАМИКА СТРУКТУРЫ ПОСЕЛЕНИЯ <i>MYTILUS EDULIS</i> НА ЛИТОРАЛИ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ</b> .....	302
Е.Д. Краснова, А.В. Чесунов, Н.М. Калякина <b>КАТАЛОГ БИОТЫ БЕЛОМОРСКОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ МГУ: ОПЫТ СОСТАВЛЕНИЯ</b> .....	305
М.Ю. Крупнова, Н.Н. Немова, В.Т. Комов <b>ВЛИЯНИЕ АККУМУЛЯЦИИ РТУТИ НА АКТИВНОСТЬ ПРОТЕОЛИТИЧЕСКИХ ФЕРМЕНТОВ В ЖАБРАХ И МЫШЦАХ ОКУНЕЙ ИЗ ОЗЕР, ПРИЛЕГАЮЩИХ К БИОСТАНЦИИ КАРТЕШ (БЕЛОЕ МОРЕ)</b> .....	309
Л.А. Кудерский <b>ОСНОВОПОЛОЖНИК ОТЕЧЕСТВЕННОГО РЫБОВОДСТВА (К 180-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ В.П. ВРАССКОГО: 07.09.1829–10.01.1863)</b> .....	312

Л.А. Кудерский ИЗМЕНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ РЫБНОГО НАСЕЛЕНИЯ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА С 60-Х ГОДОВ XIX СТОЛЕТИЯ ПО 2000 ГОД .....	316
И.П. Кутчева, Д.М. Мартынова СУТОЧНОЕ ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БИОМАССЫ КОПЕПОД СЕТНОГО ЗООПЛАНКТОНА В КАНДАЛАКШСКОМ ЗАЛИВЕ БЕЛОГО МОРЯ В РАЗНЫЕ СЕЗОНЫ .....	321
Е.И. Кяйвярйянен, Е.В. Борвинская, Н.Н. Немова, В.Т. Комов ВЛИЯНИЕ АККУМУЛЯЦИИ РТУТИ НА АКТИВНОСТЬ $Ca^{2+}$ -АКТИВИРУЕМЫХ ПРОТЕИНАЗ В ТКАНЯХ ОКУНЕЙ ( <i>PERCA FLUVIATILIS</i> ) ИЗ ОЗЕР ВБЛИЗИ БИОСТАНЦИИ КАРТЕШ (БЕЛОЕ МОРЕ) .....	324
Е.И. Лаврова, Ю.В. Слынько ОСОБЕННОСТИ МИТОХОНДРИАЛЬНОГО ГЕНОМА НА ПРИМЕРЕ ЦИТОХРОМА В АЛТАЙСКИХ ОСМАНОВ ( <i>OREOLEUCISCUS WARPACHOWSKI</i> ) МОНГОЛИИ .....	329
Н.А. Лаптева, Е.А. Соколова СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ РАЗНООБРАЗИЕ МИКРООРГАНИЗМОВ В ЛЕСНЫХ ЛАМБАХ ЮЖНОЙ КАРЕЛИИ .....	332
И.И. Лыжов, К.С. Рысакова, В.А. Мухин, В.Ю. Новиков, А.Ю. Широлина ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕПАТОПАНКРЕАСА КРАБА-СТРИГУНА <i>CHIONOECETES OPILIO</i> В ПОЛУЧЕНИИ БЕЛКОВЫХ ГИДРОЛИЗАТОВ ИЗ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ТРЕСКИ .....	337
С. Н. Лябзина СОСТАВ И СТРУКТУРА КОМПЛЕКСА БЕСПОЗВОНОЧНЫХ- НЕКРОБИОНТОВ В ВОДНОЙ СРЕДЕ .....	340
А.А. Максимов, Н.А. Березина, С.М. Голубков, Л.П. Умнова АРКТИЧЕСКОЕ КОЛЕБАНИЕ И ИЗМЕНЕНИЯ В ЭКОСИСТЕМЕ СЕВЕРНОГО ОЗЕРА .....	343
А.А. Махров ЕВРОПЕЙСКАЯ ЖЕМЧУЖНИЦА ( <i>MARGARITIFERA MARGARITIFERA</i> (L.)) И РЫБЫ – ХОЗЯЕВА ЕЕ ЛИЧИНOK В ВОДНЫХ СИСТЕМАХ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К ВОДОРАЗДЕЛУ БАССЕЙНОВ БАЛТИКИ И ВОЛГИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ) .....	348
Е.Б. Мельникова ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ УРАВНЕНИЯ РОСТА БЕРТАЛАНФИ ПРИ ОТСУТСТВИИ РЕГУЛЯРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ .....	353
Т. М. Михайлова СОСТОЯНИЕ НЕКОТОРЫХ БЕЛОМОРСКИХ ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ ПРОМЫСЛОВЫХ БУРЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ <i>FUCUS DISTICHUS</i> и <i>F. SERRATUS</i> .....	356
К.А. Михальчук, Н.А. Казусь, Д.М. Мартынова ПИТАНИЕ <i>METRIDIA LONGA</i> (COPEROIDA; CALANOIDA) В БЕЛОМ МОРЕ .....	359
Д.А. Могиленко, Д.А. Сафина, И.В. Кудрявцев РОЛЬ NF- В И МАРК В АКТИВАЦИИ ЭКСПРЕССИИ ГЕНА <i>ARC3-LIKE</i> В ГЕПАТОПАНКРЕАСЕ МОРСКОЙ ЗВЕЗДЫ <i>ASTERIAS RUBENS</i> ПРИ ДЕЙСТВИИ БАКТЕРИАЛЬНОГО ЛИПОПОЛИСАХАРИДА ....	362
А.А. Морозов, Г.М. Чуйко, Е.С. Бродский ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ ПЕЧЕНИ И ЖАБР ЛЕЩА ( <i>ABRAMIS BRAMA</i> L.) ИЗ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В КАЧЕСТВЕ БИОИНДИКАТОРА ЗАГРЯЗНЕНИЯ СРЕДЫ ПОЛИХЛОРИРОВАННЫМИ БИФЕНИЛАМИ .....	365
О.Н. Мохова СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОМЫСЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕЛОМОРСКИХ ФУКОИДОВ В ШХЕРНЫХ РАЙОНАХ ОНЕЖСКОГО ЗАЛИВА .....	370
Е.А. Муравьева О ЗАГРЯЗНЕННОСТИ БЕНЗ(А)ПИРЕНОМ ДОНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮГО-ВОСТОЧНОГО РАЙОНА БАРЕНЦЕВА МОРЯ .....	372
И.Г. Мурза, О.Л. Христофоров ОБ УНИФИКАЦИИ РАСЧЁТА КОЭФФИЦИЕНТА УПИТАННОСТИ У ЛОСОСЕВЫХ РЫБ .....	376
Е. А. Назарова ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ЭПИТЕЛИОЦИТОВ КАНАЛЬЦЕВ ТУЛОВИЩНОЙ ПОЧКИ КОСТИСТЫХ РЫБ И ИХ ВЗАИМОСВЯЗЬ С ВЫПОЛНЯЕМЫМИ ФУНКЦИЯМИ .....	380



А.И. Никифоров <b>БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НЕКОТОРЫХ ОСЕТРОВЫХ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ В УСЛОВИЯХ САДКОВОГО РЫБОВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА</b> .....	385
В.Н. Никулина <b>СОСТАВ И ОБИЛИЕ ФИТОПЛАНКТОНА ОЗЕРА КРИВОГО (ББС ЗИН РАН) В 1960-е и 2000-е ГОДЫ</b> .....	388
Д.С. Павлов, Э.С. Борисенко, А.Д. Мочек, А.И. Дегтев <b>ИССЛЕДОВАНИЯ НЕРЕСТОВЫХ МИГРАЦИЙ ЦЕННЫХ ВИДОВ РЫБ С ПОМОЩЬЮ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ</b> .....	391
Д.С. Павлов, А.Д. Мочек, Э.С. Борисенко, А.И. Дегтев, С.И. Студенов <b>ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЫБНОГО НАСЕЛЕНИЯ ПОЙМЕННЫХ ВОДОЕМОВ</b> .....	399
Д.С. Павлов, З.А. Нефедова, А.Е. Веселов, О.Б. Васильева, Т.Р. Руоколайнен, П.О. Рипатти, Н.Н. Немова <b>СРАВНЕНИЕ ЛИПИДНЫХ СПЕКТРОВ СЕГОЛЕТОВ АТЛАНТИЧЕСКОГО ЛОСОСЯ <i>SALMO salar</i> L. ИЗ ДВУХ БИОТОПОВ ПРИТОКА АРЕНЬГА (р. Варзуга, Кольский п-ов) ..</b>	404
Л.В. Парухина <b>О ЛЕТНЕМ ИХТИОПЛАНКТОНЕ ДВИНСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ</b> .....	407
Г. А. Пенькова <b>ВЛИЯНИЕ НАКОПЛЕННОЙ РТУТИ НА ГИДРОЛИЗ УГЛЕВОДОВ В КИШЕЧНИКЕ ОКУНЯ ИЗ ВОДОЕМОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ С РАЗЛИЧНЫМ УРОВНЕМ pH ВОДЫ</b> .....	412
В.А. Петухов <b>МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИБРЕЖНОГО МЕЙОБЕНТОСА ОЗЕР КРИВОЕ И СТАРУШЕЧЬЕ (КАРЕЛИЯ)</b> .....	415
Н.Ф. Плотицына, Т.А. Зимовейскова <b>ХЛОРОРГАНИЧЕСКИЕ ПЕСТИЦИДЫ И ПОЛИХЛОРБИФЕНИЛЫ В РЫБАХ БАРЕНЦЕВА МОРЯ</b> .....	420
Э.К. Попова, А.В. Сухов <b>ИХТИОФАУНА ВОДОЕМОВ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА «КИВАЧ» И ПРИЛЕГАЮЩЕЙ К НЕМУ ТЕРРИТОРИИ</b> .....	426
А.С. Потрохов <b>ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ НУКЛЕИНОВЫХ КИСЛОТ В ТКАНЯХ КАРПА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ АЛЛОХТОННОГО АЗОТА В ВОДЕ И ТЕМПА РОСТА РЫБ</b> .....	432
А.С. Потрохов, О.Г. Зиньковский, Н.А. Могилевич <b>АКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕКИСНОГО ОКИСЛЕНИЯ ЛИПИДОВ У КАРПА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ МИНЕРАЛЬНОГО АЗОТА</b> .....	438
Л.А. Похольченко <b>ЛИПИДНЫЙ СОСТАВ ТКАНЕЙ АТЛАНТИЧЕСКОГО ЛОСОСЯ <i>SALMO SALAR</i> L. КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА</b> .....	443
И.М. Примаков, О.Л. Саранчова, О.О. Ушакова <b>СОСТАВ И СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА МЕРОПЛАНКТОНА УСТЬЕВОЙ ЧАСТИ ГУБЫ ЧУПА (БЕЛОЕ МОРЕ)</b> .....	445
В.В. Прокофьев <b>ДИНАМИКА ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ И ДЫХАНИЯ У ЦЕРКАРИЙ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ БЕЛОМОРСКИХ ТРЕМАТОД</b> .....	449
А.Л. Рабинович, П.О. Рипатти <b>ДЛИННОЦЕПОЧЕЧНЫЕ ПОЛИЕНОВЫЕ КОМПОНЕНТЫ ПРИРОДНЫХ ЛИПИДОВ: КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СВОЙСТВ И ПРОГНОЗА НКЦИЙ</b> .....	454
И.Г. Радченко, Л.В. Ильяш <b>ФИТОПЛАНКТОН ДВИНСКОГО ЗАЛИВА В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ РЕЧНЫХ ВОД</b> .....	460
Т.И. Регеранд, М.В. Лизенко, Е.И. Лизенко <b>РОЛЬ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ В ФОРМИРОВАНИИ ЛИПИДНОГО СОСТАВА ЛИПОПРОТЕИДОВ РЫБ</b> .....	465
Е.А. Румянцев <b>ВЛИЯНИЕ ТИПОЛОГИИ ОЗЕР НА ФАУНУ ПАРАЗИТОВ РЫБ</b> .....	471
Е.А. Румянцев, О.В. Мамонтова, С.А. Шалина <b>ПАРАЗИТОФАУНА РЯПУШКИ ОЗЕР ОЛИГОТРОФНОГО ТИПА</b> .....	473

Л.П. Рыжков <b>ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДИНАМИКИ СООТНОШЕНИЯ ВЕЛИЧИН МАССЫ И РАЗМЕРОВ ТЕЛА ОКУНЯ</b> .....	475
Л.П. Рыжков, Н.В. Артемьева, Т.В. Каменская <b>НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ АДАПТАЦИИ ПРЕСНОВОДНОГО РАЧКА <i>DAPHNIA MAGNA</i> К СОЛЕНОСТИ</b> .....	478
Л.П. Рыжков, А.В. Горохов, Л.П. Марченко, В.А. Раднаева, М.Г. Рябинкина <b>ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДОЕМОВ СИСТЕМЫ РЕКИ ХИИТОЛАНЬОКИ</b> .....	480
К.С. Рысакова, И.И. Лыжов, В.А. Мухин, В.Ю. Новиков <b>К ВОПРОСУ ИЗУЧЕНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПОПУЛЯЦИЙ ГИДРОБИОНТОВ НА СЕВЕРНОМ БАССЕЙНЕ</b> .....	483
А.А. Рюкшиев <b>ИЗМЕНЕНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СУДАКА ВЫГОЗЕРА СПУСТЯ 60 ЛЕТ ПОСЛЕ ВСЕЛЕНИЯ</b> .....	487
А.В. Рябинкин <b>СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МАКРОЗООБЕНТОСА ОЗЕР ЗАОНЕЖСКОГО ПОЛУОСТРОВА</b> .....	490
В.Н. Светочев, О.Н. Светочева <b>ЭКОЛОГИЯ ДЕТЕНЫШЕЙ ГРЕНЛАНДСКОГО ТЮЛЕНЯ НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ РАЗВИТИЯ В БЕЛОМ МОРЕ</b> .....	494
О.Н. Светочева <b>МОНИТОРИНГ МОРСКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ В БЕЛОМ МОРЕ ЛЕТОМ 2007–2008 гг.</b> .....	497
Л.А. Сергиенко <b>СТРУКТУРА И ДИНАМИКА ПРИМОРСКИХ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ ПОМОРСКОГО И КАРЕЛЬСКОГО БЕРЕГОВ БЕЛОГО МОРЯ</b> .....	499
Л.А. Сергиенко <b>МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВИДООБРАЗОВАНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ АДАПТАЦИОННЫХ СТРАТЕГИЙ ВИДОВ <i>P. SOCHLEARIA</i> L. В ПРИБРЕЖНЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВАХ БЕЛОГО МОРЯ</b> .....	503
Н. А Сидорова <b>РАЗНООБРАЗИЕ ТРОФИЧЕСКИХ ГРУПП ПРОКАРИОТ ПЕТРОЗАВОДСКОЙ ГУБЫ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА</b> .....	506
Н. А. Сидорова, А. Н. Паршуков <b>ВОПРОСЫ САНИТАРНОГО НОРМИРОВАНИЯ ПРЕСНОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ СЕВЕРА С ПОМОЩЬЮ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ТЕСТОВ</b> .....	509
А.К. Смирнов <b>ИЗБИРАЕМАЯ ТЕМПЕРАТУРА МОЛОДИ СТЕРЛЯДИ <i>ACIPENSER RUTHENUS</i> L.</b> .....	511
Л.П. Смирнов, В.В. Богдан <b>ФЕНОМЕН ПРЕАДАПТАЦИИ ЖИРНОКИСЛОТНЫХ СОСТАВОВ ЛИПИДОВ У ЭКТОТЕРМНЫХ ОРГАНИЗМОВ РАЗНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ</b> .....	514
А. О. Смуров, А. Ю. Комендантов <b>СОЛЕНОСТНЫЙ ТОЛЕРАНТНЫЙ ПОЛИГОН <i>ASTERIAS RUBENS</i> L. 1758 (<i>ECHINODERMATA: ASTERIIDAE</i>)</b> .....	518
О.П. Стерлигова, С.П. Китаев, Н.В. Ильмаст, Я.А. Кучко, С.А. Павловский, Е.С. Савосин <b>СОСТОЯНИЕ КЕФТЕНЬ ГУБЫ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА ПРИ ТОВАРНОМ ВЫРАЩИВАНИИ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ</b> .....	523
В.В. Столбунова, Д.П. Карабанов <b>ВНУТРИВИДОВАЯ СТРУКТУРА ЧЕРНОМОРСКО – КАСПИЙСКОЙ ТЮЛЬКИ <i>CLUPEONELLA CULTRIVENTRIS</i> (NORDMANN, 1840) ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АЛЛОЗИМНОЙ И RAPD- ИЗМЕНЧИВОСТИ</b> .....	528
А.П. Столяров <b>СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ЭСТУАРНЫХ БЕНТОСНЫХ СООБЩЕСТВ БЕЛОГО МОРЯ (НА ПРИМЕРЕ ЛАПШАГИНСКОГО И ЧЕРНОРЕЧЕНСКОГО ЭСТУАРИЕВ)</b> .....	531
А.П. Стрельникова, А.С. Стрельников <b>СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ НАГУЛЬНЫХ СКОПЛЕНИЙ МОЛОДИ РЫБ В ЛИТОРАЛИ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА</b> .....	533

А.Н. Сухачев, И.В. Кудрявцев, К.Е. Николаев, К.В. Галактионов, А.Д. Харазова, А.В. Полевщиков <b>ВЛИЯНИЕ ЛЕКТИНОВ РАЗЛИЧНОЙ УГЛЕВОДНОЙ СПЕЦИФИЧНОСТИ НА ГЕМОЛИТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ГЕМОЦИТОВ МИДИИ <i>MYTILUS EDULIS</i></b> .....	538
М.Т. Сярки <b>ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЗОННОЙ ЦИКЛИЧНОСТИ ПЕЛАГИЧЕСКОГО ЗООПЛАНКТОНА ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА</b> .....	542
Е.В. Теканова, Ю.Л. Сластина <b>ПЕРВИЧНО-ПРОДУКЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОЗЕРА ВЫГОЗЕРА В СВЯЗИ С ИЗМЕНЕНИЕМ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ</b> .....	547
Н.Б. Теренина, О.С. Осипова, В.В. Куклин, М.М. Куклина, О.О. Толстенков <b>НЕРВНО-МЫШЕЧНАЯ СИСТЕМА ТРЕМАТОДЫ <i>GYMNORHALLUS DELICIOSUS</i> (GYMNORHALLIDAE)</b> .....	551
М.В. Тимакова <b>ЗООПЛАНКТОН ГУБЫ ЛАХТА ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА</b> .....	554
Т.М. Тимакова <b>ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ БАКТЕРИАЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ В ВОДОЕМАХ, ЗАГРЯЗНЯЕМЫХ ОТХОДАМИ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВ</b> .....	559
А.К. Тонтери, А.Е. Веселов, А.В. Зубченко, Я.И. Лумме, С.М. Калюжин, М.Ю. Озеров, К.Р. Приммер <b>ГЕНЕТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИИ АТЛАНТИЧЕСКОГО ЛОСОСЯ (<i>SALMO SALAR</i>) БАССЕЙНА БЕЛОГО МОРЯ, ВЫЯВЛЕННАЯ С ПОМОЩЬЮ МИКРОСАТЕЛЛИТНЫХ МАРКЕРОВ</b> .....	564
И.С. Трифонова, Е.С. Макарецца, Е.Н. Чеботарев <b>МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ МЕЗОТРОФНОГО ОЗЕРА (оз. КРАСНОЕ, КАРЕЛЬСКИЙ ПЕРЕШЕЕК)</b> .....	570
И.А. Тыркин, И.Л. Щуров, В.А. Широков <b>СОСТОЯНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА ПРЕСНОВОДНОГО ЛОСОСЯ В НЕКОТОРЫХ ПРИТОКАХ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА</b> .....	573
Н.В. Ушакова, В.В. Кузьмина, О.П. Лупилов, В.А. Шептицкий <b>ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА АКТИВНОСТЬ ПРОТЕИНАЗ СЛИЗИСТОЙ ОБОЛОЧКИ КИШЕЧНИКА ЛЕЩА (<i>ABRAMIS BRAMA</i>) РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА</b> .....	578
Р.А. Федоров, А.М. Андреева <b>ОСОБЕННОСТИ ТРАНСКАПИЛЛЯРНОГО ОБМЕНА БЕЛКОВ ПЛАЗМЫ КРОВИ У ПРЕСНОВОДНЫХ КОСТНЫХ РЫБ</b> .....	583
Р.А. Федоров, А.М. Андреева <b>АНАЛИЗ ПРОНИЦАЕМОСТИ СТЕНОК КАПИЛЛЯРОВ МЫШЕЧНОГО ТИПА ДЛЯ БЕЛКОВ ПЛАЗМЫ КРОВИ У КАРПА <i>CYPRINUS CARPIO</i></b> .....	585
О.В. Фомина <b>ПОЛОВАЯ СТРУКТУРА МОРСКОЙ ЗВЕЗДЫ <i>ASTERIAS RUBENS</i> L. НА ТЕРРИТОРИИ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ В 2003 ГОДУ</b> .....	589
Т.А. Чекрыжева <b>ФИТОПЛАНКТОН СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ВЫГОЗЕРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА (РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ)</b> .....	591
Л.С. Червова <b>ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ БЕЛОМОРСКОЙ ТРЕСКИ НА БОЛЕВУЮ СТИМУЛЯЦИЮ</b> .....	596
В.И. Черноок <b>РЕЗУЛЬТАТЫ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО АВИАМОНИТОРИНГА БЕЛОМОРСКОЙ ПОПУЛЯЦИИ ГРЕНЛАНДСКОГО ТЮЛЕНЯ В 1998–2008 гг.</b> .....	601
В.А. Чугайнова, И.Ю. Македонская <b>ПЕРВИЧНАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ФИТОПЛАНКТОНА В ПРОЛИВЕ ПЕЧАКОВСКАЯ САЛМА БЕЛОГО МОРЯ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД</b> .....	605
Г.М. Чуйко, А.А. Морозов, Е.С. Бродский, А.А. Шелепчиков, Д.Б. Фешин <b>СТОЙКИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ СОЕДИНЕНИЯ В ЭКОСИСТЕМЕ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РЫБ И ВОДНЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ</b> .....	608
М.В. Чурова, О.В. Мещерякова, М.И. Шатуновский, Н.Н. Немова <b>КОРРЕЛЯЦИЯ БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ С ЛИНЕЙНО-ВЕСОВЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ОСОБЕЙ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ РЫБ</b> .....	612



А.Н. Шаров <b>ИНДИКАТОРНАЯ РОЛЬ ФИТОПЛАНКТОНА В ОЦЕНКЕ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КАЧЕСТВА ВОД БОЛЬШИХ ОЗЕР ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА</b> .....	617
Ф.М. Шакирова <b>СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИХТИОФАУНЫ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЕЁ ИЗМЕНЕНИЯ</b> .....	622
Т. В. Шамрай <b>РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ КОРМОВОЙ БАЗЫ ЗАВОДСКОЙ МОЛОДИ АТЛАНТИЧЕСКОГО ЛОСОСЯ РЕКИ КОЛА (КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)</b> .....	626
М.И. Шатуновский <b>ВОЗРАСТНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛАСТИЧЕСКОГО И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБМЕНА У РЫБ</b> .....	631
В.П. Шевченко, А.П. Лисицын, Р.А. Алиев, А.А. Виноградова, Н.С. Замбер, О.Л. Кузнецов, А.Н. Новигатский, Н.В. Политова, А.С. Филиппов <b>АТМОСФЕРНЫЙ ПЕРЕНОС ВЕЩЕСТВА (ВКЛЮЧАЯ ЭКОТОКСИКАНТЫ) В БЕЛОЕ МОРЕ И НА ЕГО ВОДОСБОР</b> .....	632
А.С. Шерстков, С.Б. Фролов, В.С. Шерстков <b>ПРОБЛЕМЫ РЫБОЛОВСТВА В БЕЛОМ МОРЕ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ</b> .....	637
М.В. Шитова, М.Е. Бурякова, Г.А. Рубцова, К.И. Афанасьев, Т.В. Малинина, А.М. Орлов, Л.А. Животовский <b>ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ И ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ПОДРАЗДЕЛЕННОСТЬ КЕТЫ И ТИХООКЕАНСКОЙ ТРЕСКИ</b> .....	643
Г.А. Шкляревич, В.В. Богдан <b>РАЗМЕРНЫЙ СОСТАВ И ЛИПИДНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ У АМФИПОД БЕЛОГО МОРЯ В РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ ОБИТАНИЯ</b> .....	645
Г. В. Шурганова, М. Ю. Кочеткова <b>ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В ГОРЬКОВСКОМ И ЧЕБОКСАРСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩАХ НА ОСНОВЕ ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ</b> .....	648
Ketil Eiane <b>MORTALITY IN CALANUS GLACIALIS: SEASONAL VARIABILITY IN THE WHITE SEA BETWEEN 1963 AND 1998</b> .....	653
Stig Falk-Petersen, Jørge Berge, Ketil Eiane, Eva Leu and Janne Søreide <b>CALANUS GLACIALIS, A KEY ORGANISM IN ARCTIC SHELF SEAS</b> .....	653
Svetlana A. Murzina, Stig Falk-Petersen, Juirgen Berge, Nina N. Nemova <b>GEOGRAPHIC DYNAMIC OF LIPID CONTENT LARVAE DAUBED SHANNY LEPTOCLINUS MACULATUS (FAMILY: STICHAEIDAE) FROM ISFJORDEN AND KONGSFJORDEN, SVALBARD</b> .....	654
Camilla Ottesen, Svetlana A. Murzina, Haakon Hop, Stig Falk-Petersen, Jørgen Schou Christiansen <b>LIFE HISTORY ASPECTS OF LEPTOCLINUS MACULATUS (STICHAEIDAE: LUMPENINAE) IN NORWEGIAN ARCTIC WATERS</b> .....	657
Janne E. Søreide, Eva Leu, Jørgen Berge, Martin Graeve, Stig Falk-Petersen <b>TIMING OF OMEGA-3 FATTY ACID PRODUCTION IN MARINE ECOSYSTEMS: A KEY FACTOR IN A CHANGING ARCTIC</b> .....	657

## CONTENT

T.A. Alekseeva, I.G. Vladimirova	<b>THE RATE OF OXYGEN CONSUMPTION IN SOME AMPHIBIOUS INVERTEBRATE</b> .....	27
A.M. Andreeva	<b>THE ROLE OF OLIGOMEROUS PLASMA PROTEINS IN STABILIZATION OF WATER METABOLISM FROM BONY FISHES</b> .....	33
A.M. Andreeva, I.P. Rjabtseva, V.V. Lukjanenko	<b>THE ADAPTATIONS OF RESPIRATORY FUNCTION OF THE BLOOD FROM FRESHWATER BONY FISHES</b> .....	39
A.P. Andreeva, A.V. Semenova, A.K. Karpov	<b>SOME WAYS TO PROBLEMS OF RACE SUBDIVIDED IN WHITE SEA HERRING (<i>CLUPEA PALLASSI MARIS-ALBI</i> BERG)</b> .....	42
L.V. Anikieva, E.P. Ieshko	<b>MORPHOLOGICAL VARIABILITY OF <i>PROTEOCEPHALUS LONGICOLLIS</i> (ZEDER, 1800) (PROTEOCEPHALIDAE), A PARASITE OF COREGONIDS IN CONDITIONS OF TRANSFORMATION OF WATER COMMUNITIES</b> .....	46
E. S. Arakelova	<b>EFFECTS OF SIZE AND TEMPERATURE ON METABOLIC RATE IN SOME AMPHIPODS</b> .....	50
O. N. Artaev, A.B. Ruchin	<b>TROPHIC NICHES OF SYNTOPIC LIVING OF GUDGEONS</b> .....	52
V. S. Artamonova, A. A. Makhrov	<b>THE GENE POOL OF ATLANTIC SALMON OF NORTHERN RUSSIA: THE HISTORY OF FORMATION, ADAPTIVE VALUE, AND WAYS FOR PRESERVING AND USING (A REVIEW OF RESEARCH)</b> .....	58
A.V. Barsova, A.A.Babiy	<b>DYNAMICS OF SOME ELEMENTS LIFE-CYCLE ICHTHYOFAUNA VODLOZERA (Karelia)</b> .....	66
I.A. Baryshev, V.I. Kucharev, A.N. Kruglova	<b>FLOWING LAKE IMPACT ON RIVER ZOOBENTHOS STRUCTURE (LAKE KEDROZERO, RIVER LIZHMA, ONEGA LAKE BASIN)</b> .....	72
T.A. Belevich	<b>THE PRODUCTIONAL CHARACTERISTICS OF PHYTOPLANKTON OF THE WHITE SEA IN DIFFERENT SOURCE OF NITRATE</b> .....	79
T.A. Belevich, V.A. Osipov	<b>FLUORESCENCE PARAMETERS OF THE WHITE SEA PHYTOPLANKTON IN DIFFERENT SOURCE OF NITRATE</b> .....	84
E.G. Berestovsky, I.A. Erokhina	<b>PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL PECULIARITIES OF PIKES FROM LAKES OF THE KOLA PENINSULA</b> .....	89
V.V. Bogdan, G.A. Schkljarevitch, T.R. Ruokolainen, L.V. Markova	<b>EFFECT OF SALINITY OF WHITE SEA ON LIPIDS COMPOSITION OF AMPHIPODS</b> .....	93
V.V. Bolshakov, A.M. Andreeva	<b>FEATURES OF STRUCTURAL ORGANISATION HAEMOGLOBIN <i>CHIRONOMUS PLUMOSUS</i> L.</b> .....	96
V.V. Bolshakov, N.A. Shobanov	<b>POPULATIONS CARYOFUNDS OF <i>CHIRONOMUS PLUMOSUS</i> L. IN SHALLOW AREAS RYBINSK RESERVOIR AND IT INFLOWS</b> .....	99
L.G. Butorina	<b>INFLUENCE OF SEASONALLY-CYCLIC VARIATIONS OF THE DAYLIGHT PERIOD LENGTH OVER THE NUMBERS AND COMPOSITION OF <i>POLYPHEMUS PEDICULUS</i> (CRUSTACEA: CLADOCERA) POPULATIONS</b> .....	108
E. V. Vargot	<b>AQUATIC FLORA OF LEFT PART BASSIN ALATYR RIVER FOR EXAMPLE NATIONAL PARK «SMOLNY»</b> .....	110

I.G. Vladimirova, T.A. Alekseeva, L.I. Radzinskaya, S.Yu. Kleimenov <b>CHANGES OF BODY WATER CONTENT AND OXYGEN CONSUMPTION IN EMBRYONIC AND LARVAL DEVELOPMENT OF GREEN TOAD <i>BUFO VIRIDIS</i></b> .....	119
K.V. Galaktionov, K.E. Nikolaev, V.V. Prokofiev, I.A. Levakin <b>SEASONALLY-DEPENDENT CHANGES IN PARASITE TRANSMISSION IN COASTAL WATERS OF THE WHITE SEA</b> .....	128
V.P. Gandzyura, L.A. Gandzyura <b>FEATURES OF METABOLIC PROCESSES OF FISHES UNDER THE CONDITIONS OF DIFFERENT LEVEL OF TOXIC POLLUTION OF RESERVOIRS</b> .....	134
E.V. Garin <b>VARIABILITY OF THE LIST OF MACROPHYTES OF DIGGED PONDS</b> .....	138
P.E. Garlov, D.K. Dirin, V.P. Swedov <b>REPRODUCTIVE BIOENGINEERING AND RECOMMENDATIONS ON RESTORATION OF COMMERCIAL FISH POPULATIONS</b> .....	142
A.V. Gerasimova, E.K. Kuznetsova <b>ABOUT LONG-TERM STABILITY OF MACROZOOBENTHOS SPATIAL DISTRIBUTION IN THE UPPER SUBLITIDAL ZONE IN THE VICINITY OF KERET ARCHIPELAGO (THE WHITE SEA)</b> .....	147
V.K. Golovanov <b>TEMPERATURE CRITERIA FOR FRESHWATER FISHES OF NORTH-WEST RUSSIA</b> .....	152
I. L. Golovanova <b>HYDROLYSIS OF CARBOHYDRATES IN FISH AT DIFFERENT LEVELS OF MERCURY ACCUMULATION</b> .....	155
I.L. Golovanova, A. A. Filippov, E.S. Brodskii, A.A. Shelepchikov, D.B. Feshin <b>EFFICIENCY OF CARBOHYDRATES ASSIMILATION AND PCB CONTENTS IN BREAM FROM DIFFERENT PARTS OF THE RYBINSK RESERVOIR</b> .....	158
Y. V. Goncharov <b>THE COASTAL FISHERIES SOLOVKI ISLANDS, HISTORY, CURRENT STATUS AND POTENTIAL</b> .....	163
I. L. Grigorieva, A. B. Komissarov <b>CONDITION OF WATER QUALITY AND PHYTOPLANKTON COMMUNITY OF THE BOLOGOE LAKE UNDER THE URBAN AND INDUSTRIAL POLLUTANT</b> .....	166
Y.I. Gubelit, V.N. Nikulina <b>ALGAL COMMUNITY OF KRIVOYE LAKE (NORTHERN KARELIA) AT PRESENT TIME</b> .....	171
A. V. Goodkov, A. O. Smurov, Ju. I. Podlipaeva <b>ALTERATIONS OF HSP70 CONTENT IN THE CELLS OF FRESHWATER AND EURYHALINE CILIATES AND AMOEBAE IN THE COURSE OF THEIR ADAPTATION TO ENVIRONMENTAL SALINITY CHANGES ...</b>	175
P.A. Gurichev <b>THE MORPHOBIOLOGICAL CHARACTERISTIC OF WHITEFISH (<i>COREGONUS LAVARETUS</i> L.) OF CHUPA BAY OF THE WHITE SEA</b> .....	179
G. A. Dvoryankin <b>POPULATION CHARACTERISTICS OF VENDACE IN KENOZERSKIY NATIONAL PARK</b> .....	183
E.A. Dorofeyeva <b>MORPHOLOGICAL ADAPTATIONS OF PINK SALMON IN THE WHITE SEA</b> .....	202
T.N. Dyakina, V.V. Korolev, Yu.S. Reshetnikov <b>THE NEW FISH SPECIES IN THE WATERS OF KALUGA REGION</b> .....	206



N.V. Evseyeva <b>DISTRIBUTION OF MONOGENEA <i>GYRODACTYLUS SALARIS</i> IN CAGE FISH FARM OF KARELIA</b> .....	209
E. A. Eliseeva <b>COEXISTENCE WHITE SEA MARINE MAMMALS: WHITE WHALES (<i>DELPHINAPTERUS LEUCAS</i>), BEARDED SEALS (<i>ERIGNATUS BARBATUS</i>) AND RINGED SEALS (<i>PUSA PHISPIDA</i>) IN CHUPA INLET OF KANDALAKSHA BAY OF WHITE SEA IN SUMMER-AUTUMN PERIOD</b> .....	212
I. A. Erokhina <b>AGE CHANGES OF BIOCHEMICAL PARAMETERS OF THE WHITE SEA HARP SEAL BLOOD</b> .....	216
E.A. Zhukovskaya <b>ON GENETICAL AND MORPHOLOGICAL DIVERSITY OF <i>MYTILUS EDULIS</i> IN THE KANDALAKSHA BAY OF THE WHITE SEA</b> .....	224
A.B. Zakharov, E.I. Boznak <b>INFLUENCE OF BAUXITE DEPOSITS DEVELOPING UPON THE TIMAN RIVER FISH POPULATION</b> .....	232
M. N. Ivanova, A. N. Svirskaya <b>ABOUT MANIFESTATION OF THE COMPENSATORY GROWTH OF JUVENILE PIKE <i>ESOX LUCIUS</i></b> .....	243
D.D. Kazakova <b>ASYMMETRY OF THE PAIR STRUCTURES COMMON MINNOW SOME WATERWAY BASIN OF THE RIVERS PECHORA AND VYCHEGDA</b> .....	247
N.M. Kalinkina, N.A. Belkina, T.N. Polyakova, M.T. Syarki <b>A NEW INDEX TO ASSESS THE CONDITION OF MACROZOOBENTHOS COMMUNITIES IN DEEP-WATER PARTS OF LAKE ONEGO</b> .....	252
N.M. Kalinkina, M.T. Syarki, E.V. Tekanova, T.A. Tchekryzheva, T.M. Timakova, T.N. Polyakova, A.V. Ryabinkin <b>THE PECULIARITIES OF FISH FOOD BASE FORMING IN LAKE ONEGO</b> .....	256
N. P. Kantserova, L. A. Lysenko, N. N. Nemova, V. V. Ostashkova <b>THE EFFECT OF HEAVY METAL IONS ON INTRACELLULAR <math>Ca^{2+}</math>-DEPENDENT PROTEINASES IN <i>MYTILUS EDULIS</i> L. IN THE EXPERIMENTS <i>IN VITRO</i> AND <i>IN VIVO</i></b> .....	262
D.S. Kapshay, V.K. Golovanov <b>THERMOPREFERENDUM OF YOUNG CYPRINIDS AND PERCIDS FISHES AND OTHER SPECIES FROM UPPER VOLGA REGION</b> .....	266
A.B. Karasev, S.V. Ponomarev, O.S. Eremenko <b>THE PARASITE FAUNA OF THE EUROPEAN SMELT (<i>OSMERUS EPERLANUS</i>) FROM SOME ISOLATED LAKE POPULATIONS IN THE NORTH EUROPEAN PART OF RUSSIA</b> .....	269
A. Kasumyan, E. A. Marusov <b>TASTE RESPONSE IN SCULPIN <i>MYOXOCEPHALUS SCORPIUS</i> AND ARCTIC FLOUNDER <i>LIOPSETTA GLACIALIS</i></b> .....	271
N. V. Klimovskijy <b>THE CONTENTS OF PETROHYDROCARBONS IN BOTTOM SEDIMENTS IN OFFSHORE AREAS OF THE AUSTRAL PART OF NEW LAND</b> .....	274
M.N. Kozhin <b>AN ADDITION TO MARINE SEDGES' ECOLOGY (<i>CAREX</i> L.) OF KANDALAKSHA BAY (WHITE SEA)</b> .....	280
A.K. Kozmin <b>RECOMMENDATIONS ON FISH STOCKS USE OF LACHA LAKE IN STRONG MACROPHYT OBLITERATION CONDITIONS</b> .....	284
N. I. Komova <b>VARIABILITY OF BIOCHEMICAL INDICES OF CYPRINID FISHES DURING THE PRESPAWNING PERIOD</b> .....	296
S. F. Komulaynen, A. N. Kruglova, I. A. Baryshev <b>MODERN STATE OF HYDROBIONT COMMUNITIES IN SOME RIVERS OF POMORSKY COAST OF WHITE SEA</b> .....	302

E. D. Krasnova, A.V. Tchesunov, N.M. Kalyakina <b>BIOTA CATALOGUE OF THE WHITE SEA BIOLOGICAL STATION OF THE LOMONOSOV MOSCOW STATE UNIVERSITY: CASE STUDY</b> .....	309
E.I. Kaivarainen, E.V. Borvinskaya, N.N. Nemova, V.T. Komov <b>EFFECT OF ACCUMULATION OF MERCURY ON ACTIVITY <math>\text{Ca}^{2+}</math>-ACTIVATED PROTEINASES IN TISSUES OF PERCHES (<i>PERCA FLUVIATILIS</i> L.) FROM LAKES NEAR BIOLOGICAL RESEARCH STATION KARTESH (WHITE SEA)</b> .....	329
E.I. Lavrova, Yu.V. Slynko <b>THE MITOCHONDRIAL GENOME CHARACTERISTICS BY THE EXAMPLE OF CYTOCHROME b AT ALTAI OSMANS (<i>OREOLEUCISCUS WARPACHOWSKI</i>) OF MONGOLIA</b> .....	331
N.A. Lapteva, E.A. Sokolova <b>STRUCTURAL AND FUNCTIONAL DIVERSITY OF MICROORGANISMS IN SMALL FOREST LAKES OF KARELIA</b> .....	337
I.I. Lyzhov, K.S. Rysakova, V.A. Mukhin, V.Yu. Novikov, A.Yu. Shironina <b>APPLYING OF SNOW CRAB'S HEPATOPANCREAS FOR OBTAINING OF PROTEIN HYDROLYSATES FROM COD FILLETING WASTES</b> .....	340
S. N. Lyabzina <b>STRUCTURE OF NECROBIONT COMPLEX IN WATER</b> .....	342
A.A. Maximov, N.A. Berezina, S.M. Golubkov, L.P. Umnova <b>ARCTIC OSCILLATION AND CHANGES IN THE NORTH LAKE ECOSYSTEM</b> .....	348
A. A. Makhrov <b>THE EUROPEAN FRESHWATER PEARL MUSSEL (<i>MARGARITIFERA MARGARITIFERA</i>) AND HOST FISH OF ITS LARVAE IN WATER SYSTEMS ALONG THE WATERSHED OF BALTIC AND CASPIAN DRAINAGES</b> .....	353
E.B. Melnikova <b>DEFINITION OF COEFFICIENTS OF THE BERTALANFFY GROWTH</b> .....	356
O.N. Mokhova <b>THE COMPARATIVE ANALYSIS OF PICKING CHARACTERISTICS AMONG WHITE SEA FUCOIDS IN SKERRY AREAS OF THE ONEGA GULF</b> .....	372
E.A. Muravyeva <b>ABOUT DIRTINESS THE BOTTOM SEDIMENTS OF SOUTHEAST AREA BARENTSEVA OF A SEA WITH BENZ(A)PIREN</b> .....	376
I.G. Murza, O.L. Christoforov <b>TO UNIFORMITY OF METHODOLOGY OF CONDITION FACTOR CALCULATION IN SALMONID FISHES</b> .....	380
E.A. Nazarova <b>FEATURES OF EPITHELIAL CELL STRUCTURE OF TRUNK KIDNEY IN BONY FISH AND THEIR RELATIONSHIP WITH THEIR FUNCTIONS</b> .....	385
A.I. Nikiforov <b>BIOLOGICAL PECULIARITIES OF SOME ACIPENSERIDAE UNDER REARING IN THE CONDITIONS OF THE INDUSTRIAL FISH-BREEDING FARM</b> ....	388
V.N. Nikulina <b>COMPOSITION AND ABUNDANCE OF THE PHYTOPLANKTON DE LAKE KRIVOYE (WSBST. RAS) 1960s AND 2000s YEARS</b> .....	391
L. V. Parukhina <b>ABOUT SUMMER ICHTHYOPLANKTON OF THE DVINSKY BAY OF THE WHITE SEA</b> .....	411
G.A. Pen'kova <b>EFFECT OF ACCUMULATED MERCURY ON CARBOHYDRATES HYDROLYSIS IN THE PERCH INTESTINE FROM THE EUROPEAN RUSSIA WATER RESERVOIRS WITH DIFFERENT WATER pH LEVELS</b> .....	415
V. A. Petukhov <b>MEIOBENTHOS OF THE COASTAL ZONE OF TWO LAKES (NORTHERN KARELIA)</b> .....	420
N.F. Plotitsyna, T.A. Zimoveyskova <b>ORGANOCHLORINE PESTICIDES AND POLYCHLORINATED BIPHENYLS IN THE BARENTS SEA FISHES</b> .....	426

E.K. Popova, A.V. Sukhov <b>FISHES OF RESERVOIRS OF THE KIVACH STATE NATURE RESERVE AND ADJACENT TERRITORIES</b> .....	432
A.S. Potrokhov <b>CHANGE OF CONTENTS OF NUCLEIC ACIDS IN TISSUES OF CARP DEPENDING ON CONCENTRATION OF ALLOCHTHONOUS NITROGEN IN WATER AND RATE OF GROWTH OF FISH</b> .....	437
A.S. Potrokhov, O.G. Zinkovskiy, N.A. Mogylevych <b>ACTIVITY OF PROCESSES OF PEROXIDE OXIDATION OF LIPIDS AT CARP UNDER ACT OF MINERAL NITROGEN</b> .....	443
I.M. Primakov, O.L. Saranchova, O.O. Ushakova <b>STRUCTURE AND SEASONAL DYNAMICS OF MEROPLANKTON IN THE MOUTH PART OF CHUPA BAY (THE WHITE SEA)</b> .....	449
V.V. Prokofiev <b>DYNAMICS OF MOVING ACTIVITY AND BREATH IN TRANSMISSIVE LARVAE (CERCARIAE) OF SOME TREMATODE SPECIES PARASITIC IN MARINE ANIMALS</b> .....	454
A.L. Rabinovich, P.O. Ripatti <b>VERY LONG POLYENOIC FATTY ACID CHAINS OF MEMBRANE LIPIDS: COMPUTER SIMULATIONS FOR STUDY OF PROPERTIES AND FUNCTION FORECAST</b> .....	460
T.I. Regerand, M.V. Lizenko, E.I. Lizenko <b>THE ROLE OF DIFFERENT FACTORS IN THE FORMATION OF LIPID CONTENT IN FISH LIPOPROTEINS</b> .....	471
L.P. Ryzhkov <b>ECOLOGICAL ASPECTS SPEAKERS CORRELATIONS OF THE VALUES OF THE MASS AND SIZES OF THE BODY OF THE PERCH</b> .....	478
K.S. Rysakova, I.I. Lyzhov , V.A. Mukhin, V.Yu. Novikov <b>TO A QUESTION OF STUDYING OF GENETIC STRUCTURE OF HYDROBIONTS' POPULATIONS ON NORTHERN BASIN</b> .....	486
L.A. Sergienko <b>STRUCTURE AND DYNAMICS OF SALTMARSH COMMUNITIES OF THE POMORIAN AND KARELIAN COASTS OF THE WHITE SEA</b> .....	503
L.A. Sergienko <b>MORPHOLOGICAL ASPECT OF SPECIATION IN GENUS COCHLEARIA L. IN SALT MARSH COMMUNITIES OF COASTAL ZONE OF WHITE SEA</b> .....	505
N. A. Sidorova <b>BIODIVERSITY IN PROCARYOTIC TROPHIC GROUPS OF PETROZAVODSK BAY OF ONEGO LAKE</b> .....	508
N. A. Sidorova, A. N. Parshukov <b>DETERMINATION OF SANITARY RATE SETTING PROBLEMS IN NORTHERN FRESH-WATER ECOSYSTEMS BY MEANS OF MICROBIOLOGICAL TESTS</b> .....	511
A.K. Smirnov <b>PREFERRED TEMPERATURE IN YOUNG STERLET <i>ACIPENSER RUTHENUS</i> L.</b> .....	514
V.V. Stolbunova, D.P. Karabanov <b>INTRASPECIFIC STRUCTURE BLACK SEA AND CASPIAN KILKA (<i>CLUPEONELLA CULTRIVENTRIS</i>) OF THE (NORDMANN, 1840) BY RESULTS OF ALLOZYME AND RAPD-VARIABILITY</b> .....	531
A.P. Stolyarov <b>PARTICULARITIES SPATIAL STRUCTURE OF THE LITTORAL MACROBENTHOS OF THE LAPSHAGIN LIP AND BLACK RIVER ESTUARY (KANDALAKSHA BAY, WHITE SEA)</b> .....	533
A.P. Strelnikova, A.S. Strelnikov <b>STRUCTURAL ORGANIZATION OF FORAGING ASSEMBLAGES OF FISH JUVENILES IN THE LITTORAL OF THE RYBINSK RESERVOIR</b> .....	538
M.T. Syarki <b>THE INVESTIGATION OF SEASONAL CYCLING OF PELAGIC ZOOPLANKTON IN LAKE ONEGO</b> .....	546



E.V. Tekanova, Y.L. Slastina <b>PRIMARY PRODUCTION CHARACTERISTICS OF THE LAKE VYGOZERO (KARELIA, RUSSIA) DEPENDING ON ANTHROPOGENIC LOAD CHANGE ...</b>	551
N.B. Terenina, O.S. Osipova, V.V. Kuklin, M.M. Kuklina, O.O. Tolstenkov <b>NEUROMUSCULAR SYSTEM OF <i>GYMNOPHALLUS DELICIOSUS</i> (TREMATODA, GYMNOPHALLIDAE)</b>	554
A.K. Tonteri, A.Je. Veselov, A.V. Zubchenko, J.I. Lumme, S.M. Kalyuzhin, M.Yu. Ozerov, C.R. Primmer <b>GENETIC STRUCTURE OF ATLANTIC SALMON (<i>SALMO SALAR</i>) POPULATION OF THE WHITE SEA BASIN REVEALED WITH MICROSATELLITE MARKERS</b>	565
I.S. Trifonova, E.S. Makartseva, E.N. Tchibotaryov <b>LONG-TERM CHANGES OF PLANKTONIC COMMUNITIES IN A MEZOTROPHIC LAKE (LAKE KRASNOE, KARELIAN ISTHMUS)</b>	573
N.V. Ushakova, V.V. Kuzmina, O.P. Lupilov, V.A. Sheptitskiy <b>INFLUENCE OF ANTHROPOGENIC IMPACT ON INTESTINAL MUCOSA PROTEINASE ACTIVITY IN BREAM <i>ABRAMIS BRAMA</i> FROM RYBINSK RESERVOIR</b>	582
R.A. Fedorov, A.M. Andreeva <b>PECULIARITY OF TRANSCAPILLARY EXCHANGE OF PLASMA PROTEINS FROM FRESHWATER BONY FISHES</b>	585
R.A. Fedorov, A.M. Andreeva <b>THE ANALYSIS OF PENETRATION OF THE CAPILLARY WALL OF MUSCULAR TYPE FOR PLASMA PROTEINS FROM <i>CYPRINUS CARPIO</i></b>	589
T.A. Chekryzheva <b>PHYTOPLANKTON IN THE NORTHERN PART OF VYGOZERSKOYE RESERVOIR (REPUBLIC OF KARELIA, RUSSIA)</b>	596
L.S. Chervova <b>BEHAVIORAL REACTIONS OF WHITE SEA COD ON THE NOCICEPTIVE STIMULATION</b>	600
V.A. Chugajnova, I.J. Makedonskaja <b>PHYTOPLANKTON PRIMARY EFFICIENCY IN PECHAKOVSKAJA SALMA BELT OF THE WHITE SEA DURING SUMMER PERIOD ...</b>	607
M.V. Churova, O.V. Mescherjakova, M.I. Shatunovsky, N.N. Nemova <b>CORRELATION OF BIOCHEMICAL PARAMETERS AND SIZES OF INDIVIDUALS OF SEVERAL FISH SPECIES</b>	617
T. V. Shamray <b>STADY OF FOOD BASE OF THE CULTIVATED YOUNG ATLANTIC SALMON IN RIVER KOLA (KOLA PENINSULA)</b>	630
V.P. Shevchenko, A.P. Lisitzin, R.A. Aliev, A.A. Vinogradova, N.S. Zamber, O.L. Kuznetsov, A.N. Novigatsky, N.V. Politova, A.S. Filippov <b>ATMOSPHERIC INPUT OF MATTER (INCLUDING ECOTOCICANTS) TO THE WHITE SEA AND ITS CATCHMENT AREA</b>	637
A.S. Sherstkov, S.B. Frolov, V.S. Sherstkov <b>PROBLEMS OF FISHERY IN THE WHITE SEA AND THE WAYS TO SOLVE</b>	642
G.A. Schkljarevitch, V.V. Bogdan <b>MORPHOMETRIC FEATURES AND LIPIDS COMPOSITION OF WHITE SEA AMPHIPODS DURING AN ECOLOGICAL FACTORS</b>	648
G.V. Shurganova, M.U. Kochetkova <b>ESTIMATION OF AN ECOLOGICAL SITUATION IN THE GORKY WATER BASIN USING THE HYDROBIOLOGICAL AND HYDROCHEMICAL PARAMETERS</b>	653
K. Eiane <b>MORTALITY IN <i>CALANUS GLACIALIS</i>: SEASONAL VARIABILITY IN THE WHITE SEA BETWEEN 1963 AND 1998</b>	653
S. Falk-Petersen, Jørge Berge, Ketil Eiane, Eva Leu and Janne Søreide <b><i>CALANUS GLACIALIS</i>, A KEY ORGANISM IN ARCTIC SHELF SEAS</b>	653

S. A. Murzina, Stig Falk-Petersen, Jørgen Berge, Nina N. Nemova <b>GEOGRAPHIC DYNAMIC OF LIPID CONTENT LARVAE DAUBED SHANNY <i>LEPTOCLINUS MACULATUS</i> (FAMILY: STICHAETIDAE) FROM ISFJORDEN AND KONGSFJORDEN, SVALBARD</b>	654
C. Ottesen, Svetlana A. Murzina, Haakon Hop, Stig Falk-Petersen, Jørgen Schou Christiansen <b>LIFE HISTORY ASPECTS OF <i>LEPTOCLINUS MACULATUS</i> (STICHAETIDAE: LUMPENINAE) IN NORWEGIAN ARCTIC WATERS</b> .....	657
J. E. Søreide, Eva Leu, Jørgen Berge, Martin Graeve, Stig Falk-Petersen <b>TIMING OF OMEGA-3 FATTY ACID PRODUCTION IN MARINE ECOSYSTEMS: A KEY FACTOR IN A CHANGING ARCTIC</b> .....	657

## **СОСТОЯНИЕ ПРЕСНОВОДНЫХ БИОЦЕНОЗОВ В РАЙОНЕ ОСВОЕНИЯ ШТОКМАНОВСКОГО ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

**М.Ю. Алексеев, В.А. Неличик, И.В. Самохвалов, С.И. Долотов, С.С. Крылова, А.В. Зубченко**  
ФГУП Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии (ПИНРО)  
им. Н.М. Книповича, г. Мурманск, Россия  
e-mail: mal@pinro.ru

### **Введение**

Освоение Штокмановского газоконденсатного месторождения (ШГКМ), помимо работ на шельфе Баренцева моря, предусматривает возведение промышленных объектов на побережье губы Териберская (Баренцево море). Для этой местности характерны тундровые ландшафты и хорошо развитая озерно-речная сеть. Ихтиофауна водоемов представлена лососевидными видами (семга, кумжа, голец).

Практика показала, что в наиболее урбанизированных районах Мурманской области, где функционируют мощные производства, отдельные водные объекты оказались непригодными для обитания гидробионтов. Например, вследствие деятельности металлургических и горно-обогатительных комбинатов оказались полностью утрачены экосистемы малых озер, расположенных в окрестностях городов Мончегорск, Никель, Апатиты. Вследствие аэротехногенного поступления на территорию водосбора соединений серы, тяжелых металлов и др., происходит загрязнение беломорских лососевых рек Умба и Нива (Моисеенко, 1990). Известно, что деятельность мощных нефте- и газоперерабатывающих предприятий способна привести к необратимым изменениям в природных экосистемах на обширных территориях (Калиев, 1995; Утегенов, 2007).

Исходя из понимания важности решения проблемы сохранения окружающей среды при реализации столь масштабного проекта, специалисты Полярного института приступили к осуществлению экологического мониторинга в районе предполагаемого строительства. Целью начального этапа оценки экологических изменений является определение исходного уровня состояния водных экосистем, относительно которого можно будет впоследствии оценивать направление и степень его динамики.

В задачи исследований входили:

Контрольные обловы рыбы в водных объектах, сбор первичного материала по бентофауне и дрейфу, обработка данных;

Оценка текущего состояния запасов основных видов рыб и их кормовой базы, расчет продуктивности озер.

### **Материал и методы**

Сбор данных осуществлялся с июня по сентябрь 2008 г. Дополнительно использованы собственные ретроспективные данные. Район работ охватывал водные объекты, расположенные на территории прибрежных участков губ Териберка, Опасова, Завалишина и Орловка (рис.).

Пробы зообентоса отбирали с помощью дночерпателя Экмана-Берджа (площадь захвата 0,04 м<sup>2</sup>), пробы дрейфа – ловушкой (газ №19, площадь облова 0,1 м<sup>2</sup>, экспозиция 15 мин.).

Контрольные обловы озер осуществляли ставными жаберными сетями. Основная часть рыбы была отловлена в озерах Опасовское, Орловское и двух озерах с местными названиями Малое Опасовское и Второе, с целью углубленного изучения состояния популяций. В многочисленных небольших водоемах и водотоках, ввиду их очевидной малоценности в рыбохозяйственном плане, производился отлов ограниченного количества рыбы для определения их наличия и видового состава. Облов молоди рыб в р. Орловка и ручьях производили электроловильным аппаратом.

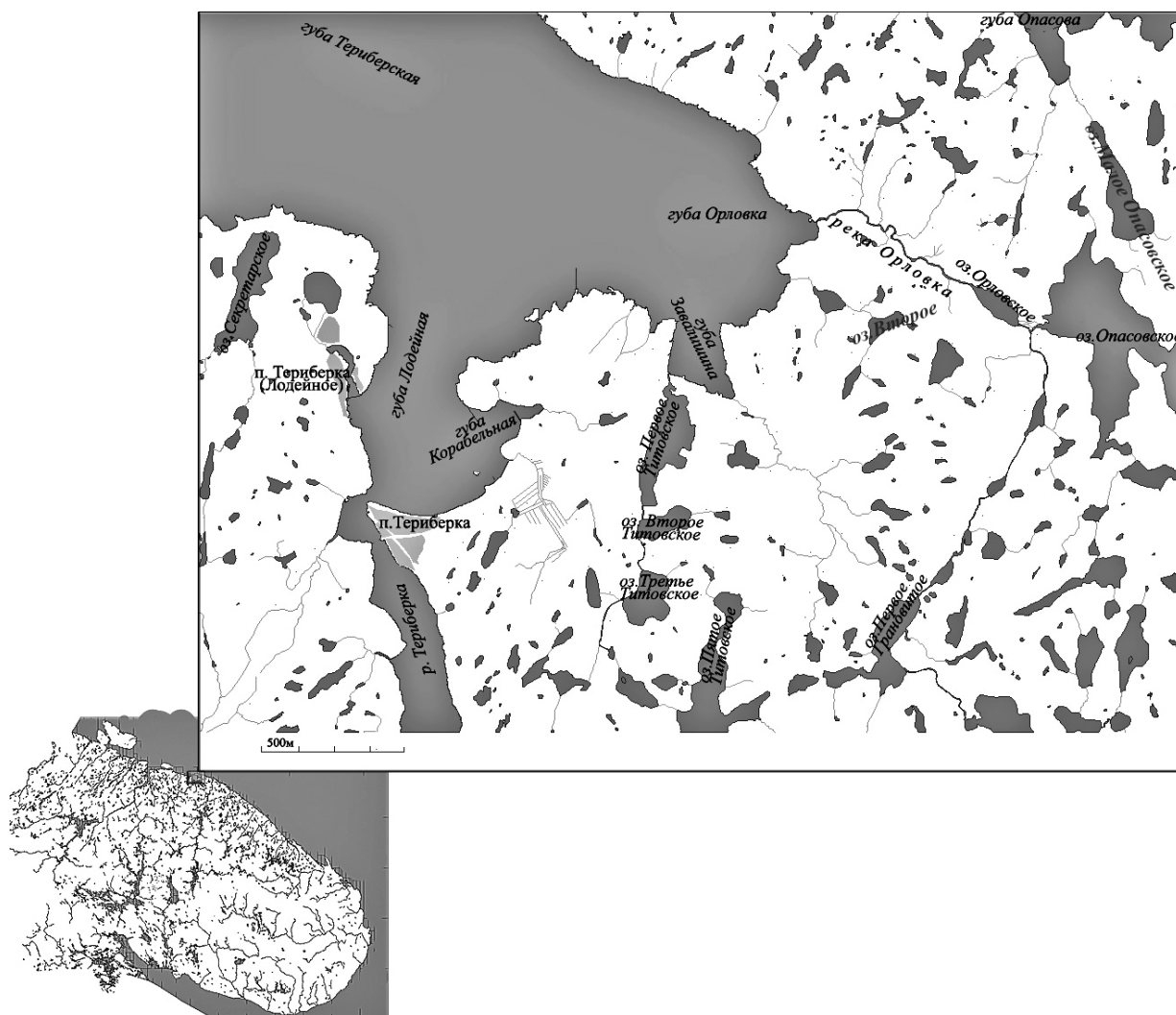
Численность и биомассу бентосных беспозвоночных на единицу площади рассчитывали по методу балансового равенства (Шустов, 1983). Первичную обработку рыбы проводили по общепринятым методам (Правдин, 1966).

Величину общей численности и биомассы облавливаемых популяций оценивали по методу И.И. Лапицкого (1962). Для интерпретации данных о биопродуктивности использовали общепринятую методологию (Китаев, 1984).

## Результаты

**Зообентос и дрефт.** В крупных водоемах (озера Опасовское, Титовские, Орловское) в группе двукрылых преобладал хирономидный комплекс (*Chironomidae*, *Simuliidae*). Далее по встречаемости следовали ручейники, малощетинковые черви и моллюски. Жуки, веснянки, поденки и ракообразные присутствовали в незначительном количестве. Общая численность в перечисленных водоемах колебалась в пределах 0,90–1,41 экз./м<sup>2</sup>, общая биомасса – от 1,10 до 4,92 г/м<sup>2</sup>. В малых озерах видовой состав бентофауны был значительно беднее, его основу составляли представители *Diptera* (хирономидный комплекс). Общая биомасса организмов в пробах не превышала 1 г/м<sup>2</sup>.

Видовое разнообразие и количественные показатели бентофауны невысоки даже в период наибольшего сезонного развития, что является нормой для ультраолиготрофных и олиготрофных водоемов тундровой зоны. В пробах зообентоса и дрефта нами в общей сложности были обнаружены представители девяти групп водных и амфибиотических организмов: двукрылые, ручейники, жесткокрылые (жуки), ручейники, поденки, веснянки, стрекозы, моллюски, малощетинковые черви и раки-бокоплавы.



Территории прибрежных участков губ Териберка, Опасова, Завалишина и Орловка

Основу дрефта в реке Орловка составляли личинки и имаго *Diptera* (в основном *Chironomidae* и *Simuliidae*) на долю которых пришлось 53% выборки. На личинок веснянок и поденок пришлось, соответственно, 20 и 11%. В пробах также встречались личинки ручейников, жуки (личинки и имаго), моллюски, малощетинковые черви, единично – личинки стрекоз. Средняя численность организмов дрефта в р. Орловка составила 7600 экз./м<sup>2</sup>/час, биомасса 4,87 г/м<sup>2</sup>/час.

Дрифт в многочисленных ручьях, расположенных в районе исследований, был значительно беднее в количественном и качественном отношении, чем в реке Орловка и ее притоках. Здесь общая численность организмов колебалась в пределах 0,44 – 1,05 экз./м<sup>2</sup>/час, общая биомасса – от 0,3 до 2,1 г/м<sup>2</sup>/час. В видовом отношении также доминировал хириноидный комплекс (водная и воздушная фракции).

**Ихтиофауна.** В обследованных водоемах были обнаружены следующие виды рыб: атлантический лосось (*Salmo salar* L.), две формы кумжи: озерная форель (*S. trutta m. lacustris* L.) и ручьевая форель (*S. trutta m. fario* L.), жилая форма гольца (*Salvelinus alpinus* L.), налим (*Lota lota* L.), колюшка 9-ти иглая (*Pungitius pungitius* L.) и 3-х иглая (*Gasterosteus aculeatus* L.). Помимо перечисленных видов, в отдельные годы в реку заходит горбуша (*Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum)). В устьевой части р. Орловка изредка встречается речная камбала (*Pleuronectus flesus* L.).

Результаты работ с электроловом показали, что воспроизводство атлантического лосося осуществляется в основном русле реки Орловка и в ее притоках с подходящими гидрологическими условиями. В уловах встречалась молодь в возрасте от 0+ до 5+. Плотность ее расселения колебалась в пределах от 11 экз./100м<sup>2</sup> до 290 экз./100м<sup>2</sup>, составив, в среднем, 70 экз./100м<sup>2</sup>. Молодь семги в незначительном количестве была обнаружена также в протоках, соединяющих губу Завалишина с Первым Титовским озером, Первое и Второе Титовские озера (рис. 1).

Форель населяет наиболее крупные водоемы и водотоки – Опасовское, Орловское, Титовские и Грановитые озера, а также ряд малых озер и ручьев. Голец обитает во всех крупных и в ряде малых озер. Численность рыб незначительна для осуществления промышленного лова, поэтому эти водоемы имеют лишь рекреационное значение. Общая промысловая рыбопродукция в наиболее крупном озере Опасовское составила 3,31 кг/га, в русловом озере Орловское – 3,9 кг/га, в малых озерах (Малое Опасовское и Второе) – 3,6 кг/га, что соответствует сложившимся представлениям о рыбопродуктивности озер тундровой зоны (Китаев, 1984). Обращает на себя внимание схожесть полученных оценок.

### Заключение

С учетом нарастающей важности решения вопросов экологической безопасности, в ходе экспедиционных работ, сотрудниками института был собран обширный материал, позволяющий сделать исчерпывающие выводы о текущем состоянии водной биоты, населяющей пресноводные водоемы, расположенные в районе предполагаемого в рамках освоения ШГКМ строительства промышленных объектов.

Показано, что видовое разнообразие и количественные показатели бентоса и дрифта невысоки даже в период наибольшего сезонного развития. Это вполне нормально для ультраолиготрофных и олиготрофных водоемов тундровой зоны. В пробах зообентоса и дрифта нами в общей сложности были обнаружены представители девяти таксонов водных и амфибиотических организмов: двукрылые, ручейники, жесткокрылые (жуки), ручейники, поденки, веснянки, стрекозы, моллюски, малощетинковые черви и раки-бокоплавы.

Ихтиофауна в водоемах и водотоках района исследований отличается малым разнообразием, но высокой ценностью видов, и представлена атлантическим лососем (семгой), различными формами форели и гольцом. Из менее ценных видов здесь встречаются налим и колюшки трехиглая и девятииглая. Современные антропогенные нагрузки на локальные популяции ценных видов рыб выражаются только в периодическом любительском лове.

В общеэкологическом плане, обследованные водные биоценозы в настоящее время стабильны. Наблюдается обычная сезонная динамика видовой и количественной структуры зообентоса и дрифта, нормальный для водоемов тундровой зоны уровень рыбопродуктивности локальных популяций атлантического лосося, кумжи и гольца.

В условиях относительно невысокой степени промысловой эксплуатации обследованных водоемов, рассчитанные показатели рыбопродуктивности могут быть приняты за естественный (базовый) уровень. Кроме этого, полученные результаты можно экстраполировать на другие водоемы, расположенные в районе исследований, в силу их близкого географического положения.

### Литература

Китаев С.П., 1984. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. М: Наука. 208 С.



Калиев А.Ж., 1995. Экологическая оценка влияния выбросов газоперерабатывающего комплекса на окружающую среду: Автореф. дис. ... докт. с.-х. наук. Оренбург. 37 с.

Лапицкий И.И., 1962. Учет численности эксплуатируемых стад сазана, леща и других рыб Цимлянско-го водохранилища // Тр. Зонального совещания по типологии и биологическому обоснованию рыбохозяйственного использования внутренних (пресноводных) водоемов южной зоны СССР. Кишинев. С. 306–311.

Моисеенко Т.И., 1990. Влияние антропогенных факторов на качество вод рек бассейна Белого моря // Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря (Тез. докл. IV рег. конф.). Архангельск. С. 79–81.

Правдин И.Ф., 1966. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). 4-е изд. М.: Пищ. пром-сть. 376 с.

Шустов Ю. А., 1983. Экология молоди атлантического лосося // Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР. 24 с.

Утегенов М.М., 2007. Повышение экологической безопасности первичной обработки нефтегазового сырья: Автореф. дис... докт. техн. наук. Алматы: ЦЕЛСИМ. 36 С.

## ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБМЕНА АМФИБИОНТОВ

Т.А. Алексеева, И.Г. Владимирова

Учреждение Российской академии наук Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН, г. Москва  
e-mail: taalexseeva@mail.ru

### Введение

Надводный и подводный мир водоемов представлен различными классами животных, в том числе насекомыми и паукообразными. Это так называемые амфибионты – организмы, приспособленные к обитанию в двух средах в воде и на суше. Энергетический обмен, будучи интегральным показателем, позволяет определить физиологическое состояние организма в различных экологических условиях, а такой критерий как стандартный обмен, дает возможность сопоставлять уровень энергетического обмена между отдельными таксономическими единицами. Стандартным обменом называется скорость потребления кислорода в состоянии покоя пойкилотермными животными при 20°C. Стандартный обмен связан аллометрической зависимостью с массой тела животных:

$$\dot{Q}_{O_2} = aM^k, \quad (1)$$

где  $\dot{Q}_{O_2}$  – скорость потребления кислорода, мВт/особь; М – масса тела, г;  $a$  и  $k$  аллометрические коэффициенты. Как видно из формулы (1), скорость потребления кислорода зависит от массы тела, поэтому, чтобы сравнить между собой стандартный обмен животных, имеющих разную массу, используют коэффициент  $a$ . При этом принято, что коэффициент  $k = 0.75$  (Винберг, 1976; Умнов, 1976; Зотин, Зотин, 1999). Целью данной работы являлось изучение скорости потребления кислорода и сопоставление стандартного обмена у беспозвоночных амфибионтов.

### Материалы и методы

Работа проведена на Кропотовской биостанции Института биологии развития РАН в летние сезоны 2007–2008 гг. Для исследования стандартного обмена были использованы амфибионты, представители класса насекомых: а именно 3 вида жуков: плавунец окаймленный *Dytiscus marginalis* L. (Coleoptera, Dytiscidae), лужник просвечивающий *Laccophilus hyalinus* Deg. (Coleoptera, Dytiscidae), плавунчик желтогрудый *Haliphus flavicollis* St. (Coleoptera, Haliplidae) и 2 вида клопов: водяной скорпион *Nepa cinerea* L. (Hemiptera, Nepidae) и гладыш *Notonecta glauca* L. (Hemiptera, Notonectidae). Из класса паукообразных 2 вида: охотник каёмчатый *Dolomedes fimbriatus* L. (Arachnoidea, Pisuaridae) и водные клещи *Hydrarachna geographica* L. (Arachnoidea, Acarina). Материал собирали в пойме реки Оки и её старицы (район г. Каширы). Собранных животных размещали в лабораторных термостатах при температуре 20±1°C, и акклиматизировали в течение 1–3 суток. Потребление кислорода измеряли у половозрелых особей при температуре 20±0.2°C манометрическим методом Варбурга. В работе использовали сосудики объемом 5–20 мл в зависимости от размеров животных. Замеры делали через каждые 30 мин в течение 3 ч. Скорость потребления кислорода

(Qo2) рассчитывали, как это принято в современных сравнительно-физиологических исследованиях, мВт/ч/особь, используя оксикалорический коэффициент 5.61 мВт/(мл O<sub>2</sub>-час).

### Результаты и обсуждение

Уровень энергетического обмена тесно связан с физиологией и строением органов дыхания с экологией вида, с температурой воды и может значительно различаться даже между отдельными особями одной популяции. Изучению зависимости энергетического обмена от биотических и абиотических факторов посвящено много работ (Ивлева, 1981; Lighton, 1996; 1997; Mbata, et.al., 2000; Владимирова и др., 2003; Бызова, 2007; и др.). Однако работ выполненных на таких объектах, как амфибионты чрезвычайно мало. Для исследования сопоставимого стандартного обмена были выбраны широко распространенные виды, значительно различающиеся между собой по массе (более чем в 50 раз), образу жизни и способу дыхания.

**Класс Insecta, отряд Coleoptera** представлен тремя видами: это плавунец окаймленный *Dytiscus marginalis* L., лужник просвечивающий *Laccophilus hyalinus* Deg. и плавунчик желтогрудый *Haliphus flavicollis* St. Данные виды обитают в основном в непроточных водоемах. Дышат атмосферным воздухом. Обычно каждые 6–8 минут, поднимаясь на поверхность, жук выставляет из воды задний конец своего тела, и некоторое время остается висеть в этой позе совершенно неподвижно. Воздух поступает через дыхальца, открывающиеся на спинной стороне его брюшных колец. Затем жук ныряет в глубину, унося с собой под надкрыльями пузырек воздуха, Израсходовав запас кислорода, жук вновь всплывает на поверхность водоема. Средние значения измерений скорости потребления кислорода и массы тела представлены в табл.

**Среднее значение измерений сырой массы W (г) и скорости потребления кислорода (Qo2), значение коэффициента ( $a = Qo2/W^{0.75}$ ), коэффициент корреляции (r), число измерений (n)**

Вид	W(г)	Qo2 (мВт)	a	r	n
<b>Класс Insect</b>					
Отряд Coleoptera					
<i>Dytiscus marginalis</i> L.	0.0845±0.0009	0.1551±0.0012	0.996	0,75	12
<i>Laccophilus hyalinus</i> Deg.	0.0092±0.0008	0.01395±0.0009	0.465	0,82	21
<i>Haliphus flavicollis</i> St.	0.0015±0.0012	0.00158±0.0013	0.510	0,79	9
Отряд Hemiptera					
<i>Nepa cinerea</i> L.	0.0887±0.0009	0.2069±0.0005	1.1768	0,65	13
<i>Notonecta glauca</i> L.	0.1420±0.0006	0.2159±0.0008	1.0654	0,80	14
<b>Класс Arachnida</b>					
<i>Dolomedes fimbriatus</i> L.	0.0151±0.0005	0.0400±0.0006	0.1671	0,71	5
<i>Hydrarachna geographica</i> L.	0.00315±0.00011	0.00353±0.00012	0.2750	0,86	23

Представленные в табл. виды жуков образуют три весовые группы. В пределах каждой из групп проступают различия в уровне скорости потребления кислорода, представителей разных морфо-экологических типов. Рассчитанный на основе экспериментальных данных коэффициент аллометрического соотношения  $a$ , также отличается и является видоспецифичными. В целом для отряда Coleoptera среднее значение коэффициента  $a$  из аллометрического уравнения (1) равно 0,656. Особое внимание заслуживает сопоставление полученных результатов по коэффициенту  $a$  для жуков амфибионтов с коэффициентом  $a$  для наземных жуков. Ранее нами (Алексеева, Зотин, 1995) были определены значения этих коэффициентов и для наземного отряда Coleoptera, который равен 1,019, т.е почти в два раза у наземных жуков обмен выше чем у амфибионтов.

**Класс Insecta, отряд Hemiptera.** Нами были рассмотрены два вида это водяной скорпион *Nepa cinerea* L. и гладыш *Notonecta glauca* L. Гладыш один из самых крупных водных клопов, сильный и ловкий хищник. Как видно из данных представленных в таблице гладыш в 2 раза крупнее водного скорпиона. Гладыш плавает спиной вниз, брюшком вверх, при необходимости неплохо летает, на суше он беспомощен. И тот и другой вид предпочитает водоемы со стоячей или медленно текущей водой. Водяной скорпион плавает плохо, в основном держится за растения. Дышат клопы атмосферным воздухом. Выставив внешний конец дыхательной трубки из воды, они набирают при помощи ее воздух в замкнутое пространство под крыльями, откуда воздух проводится в дыхальца брюшка.

Как видно из представленных в табл. результатов исследования, средний уровень скорости потребления кислорода у данных видов, не смотря на весовую разницу массы тела, почти одинаковый. Значения коэффициента  $a$  из аллометрического уравнения (1) также близки и отличаются незначительно от такового для отрядов наземных клопов ( $a=1,238$ ) (Алексеева, Зотин, 1996).

**Класс Arachnida, отряд Arachnoidea** представлен двумя видами: это охотник каёмчатый *Dolomedes fimbriatus* L. и водные клещи *Hydrarachna geographica* L.. Охотник каёмчатый хорошо плавает, действуя всеми ногами, как веслами. Дышит паук, как и другие пауки, атмосферным воздухом, который захватывает, поднимаясь на поверхность водоема. При дыхании воздух проводится в легочные мешки, которые находятся на нижней стороне брюшка и открываются парными дыхательными отверстиями. Водные клещи *Hydrarachna geographica* L. отличаются широким распространением и населяют разнообразные водоемы.

Как видно из табл., данные виды существенно отличаются по массе тела примерно в 4.5 раза. При этом выявлена довольно низкая скорость потребления кислорода для данной группы, что впрочем, свойственно и наземным паукообразным (Andersen, 1970). Значения коэффициента  $a$ , имеет низкие величины у каждого из представленных видов (табл.). Среднее значение коэффициента  $a$  из уравнения (1) для рассматриваемых видов паукообразных равно 0,221, что значительно ниже, чем у представителей класса насекомых. Следует отметить, что ранее полученные значения коэффициента  $a$  для наземных паукообразных (Алексеева, Зотин, 1999) также имели низкое значение ( $a=0,530$ ).

Представленные результаты показывают, что энергетический обмен амфибионтов весьма лабильный. Значения коэффициента корреляции ( $r$ ) всюду достаточно высоки (табл.), чтобы считать неслучайным характер зависимости скорости потребления кислорода от массы тела у амфибионтов.

В итоге, несмотря на большую морфо-экологическую разницу исследуемых объектов удалось установить важные закономерности энергетического обмена данной группы животных. Полученные результаты по сопоставимому стандартному обмену свидетельствуют о том, что уровень энергетического обмена видоспецифичен и амфибионты обладают более низким обменом по сравнению с наземными представителями рассматриваемых отрядов насекомых и паукообразных.

### Литература

- Алексеева Т. А., Зотин А. И., 1995. Энергетический обмен у насекомых: прямокрылые, стрекозы, жуки. // Известия РАН, Сер. биол., №3, С. 316–326.
- Алексеева Т. А., Зотин А. И., 1996. Стандартный обмен насекомых: клопы, бабочки, перепончатокрылые. // Известия РАН, Сер. биол., №2. С. 193–205.
- Бызова Ю. Б., 2007. Дыхание почвенных беспозвоночных. М.: Товарищество научных изданий КМК.. 328 с.
- Винберг Г. Г., 1976. Зависимость энергетического обмена от массы тела у водных пойкилотермных организмов // Журн. общ. биологии. Т.37. №1. С. 56–70.
- Владимирова И. Г., Клейменов С. Ю., Радзинская Л. И., 2003. Соотношение энергетического обмена и массы тела у двустворчатых моллюсков (Mollusca: Bivalvia) // Известия РАН. Сер. биол. №4. С. 473–481.
- Зотин А. А., Алексеева Т. А., Зотин А. И., 1998. Стандартный обмен паукообразных // Изв. РАН. Сер. биол. №6. С. 686–693.
- Зотин А. И., Зотин А. А., 1999. Направление скорости и механизмы прогрессивной эволюции. М.: Наука. 320 с.
- Ивлева И. В., 1981. Температура среды и скорость энергетического обмена у водных животных. Киев. Наук. Думка. 232 с.
- Умнов А. А., 1976. Применение статистических методов для оценки параметров эмпирических уравнений, описывающих взаимосвязь между энергетическим обменом и массой тела животных // Журн. общ. биологии. Т. 37. № 1. С. 71–86.
- Anderson J. F., 1970. Metabolic rates of spiders // CompBiochem/ and Physiol. Vol.33. No1. P 51–72.
- Lighton J. R. B., 1996. Discontinuous gas exchange in insects // Annual Review of Entomology.. V. 41. P. 309–324.
- Mbata G. N., Hetz S. K., Reichmuth C., Adler C., 2000. Tolerance of pupae and pharate adults of *Callosobruchus subinnotatus* Pic (Coleoptera: Bruchidae) to modified atmospheres: a function of metabolic rate // J. Insect Physiol.. V. 46. P. 145–151.

## THE RATE OF OXYGEN CONSUMPTION IN SOME AMPHIBIOUS INVERTEBRATE

T.A. Alekseeva, I.G. Vladimirova

Koltzov Institute of Developmental Biology RAS, Moscow, Russia  
e-mail: taalekseeva@mail.ru

Data of the oxygen consumption rate of some Insect and Arachnida are presented. It is shown the lower level of the standard metabolism in the examined amphibious than in the ground group.

## РОЛЬ ОЛИГОМЕРНЫХ БЕЛКОВ ПЛАЗМЫ КРОВИ В СТАБИЛИЗАЦИИ ВОДНОГО ОБМЕНА КОСТИСТЫХ РЫБ

А.М. Андреева

Учреждение Российской академии наук Институт биологии внутренних вод  
им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Ярославская обл., Россия  
e-mail: aam@ibiw.yaroslavl.ru

### Введение

Господствующая позиция рыб среди позвоночных в Мировом океане обеспечена, прежде всего, эффективными механизмами стабилизации внутренней жидкой среды организма. Основная функция этой среды состоит в поддержании оптимальных осмотических отношений внутри организма и с внешней средой. Белки плазмы создают онкотическое давление крови, играющее роль в процессах фильтрации жидкости через стенку капилляра. Особенностью капилляров рыб является их проницаемость ко всем белкам плазмы крови (Андреева и др., 2007, 2008). Распределение белков относительно стенки капилляра *in situ* регулирует фильтрацию через нее внеклеточной жидкости и, как следствие, водный баланс между внутриклеточной и внеклеточной средой. Стабилизация водного обмена, однако, достигается не только регуляцией проницаемости стенки капилляра, но и структурными преобразованиями белков крови. Механизм быстрой «подгонки» осмотического давления за счет обратимой диссоциации олигомеров (белков, состоящих из нескольких связанных нековалентно полипептидных цепей) выявлен для внутриклеточных белков; для белков плазмы крови такой механизм не типичен (Шульц, Ширмер, 1982). Тем не менее, в крови пресноводных костистых рыб белки-олигомеры были обнаружены (Андреева, 1999). Целью данной работы является поиск белков-олигомеров в крови и тканевых жидкостях костистых рыб с разным типом водно-солевого обмена: пресноводных, солоноватоводных и морских; туводных и проходных; и изучение структурных преобразований олигомерных белков у пресноводных костистых рыб при их адаптациях к повышенной солености.

### Материалы и методы

В качестве объектов использовали следующие виды костистых рыб:

1) пресноводные виды (отловлены в Рыбинском водохранилище) – щуку обыкновенную *Esox lucius* L., леща *Abramis brama* L., синца *Abramis ballerus* L., плотву *Rutilus rutilus* L., язя *Leuciscus idus* L., густеру *Blicca bjoerkna* L., уклейку *Alburnus alburnus* L., чехонь *Pelecus cultratus* L., карася серебряного *Carassius auratus* L., карпа обыкновенного *Cyprinus carpio* L., судака обыкновенного *Stizostedion lucioperca* L., берша *St. volgensis* G.; 2) проходные (отловлены в Японском море) – мелкочешуйную красноперку угай *Tribolodon brandtii* D.; 3) солоноватоводные виды (отловлены в Рыбинском водохранилище) – тюлька черноморско-каспийскую *Clupeonella cultriventris* N.; 4) морские виды – керчака *Myoxocephalus scorpius* L., камбалу полярную *Liopsetta glacialis* P., треску *Gadus morhua* L. (отловлены в Белом море); бычка-кругляка *Neogobius melanostomus* P., бычка-мартовика *Mesogobius batrachocephalus* P., ставриду *Trachurus mediterraneus* S., смарида *Spicara flexuosa* R., атерину *Atherina hepsetus* L., кефаль-сингиль *Lisa aurata* R., мерланга *Merlangus merlangus euxinus* N., скорпену *Scorpena porcus* L., морского налима *Gaidropsarus mediterraneus* L., зеленушку *Symphodus tinca* L. (отловлены в Черном море). Для сравнения использовали хрящевых рыб *Chondroichthyes*: катрана *Squalus acanthias* L., морского кота *Dasyatis pastinaca* L. и морскую лисицу *Raja clavata* L.; хрящевых ганоидов *Chondrostei*: стерлядь *Acipenser ruthenus* L., проходных севрюгу *A. stellatus* Pall. и белугу *Huso huso* L. (р.Волга).

В работе использовали сыворотку и плазму крови (СК, ПК). Интерстициальную жидкость ИЖ (перитонеальная, мозга, белых мышц ИЖБМ, печени, верхней трети желудочно-кишечного тракта ЖКТ) отбирали либо с помощью пипеток-дозаторов, либо напityванием полоски размером 0,5x4,0мм хроматографической бумаги Watmann 3MM (Андреева и др., 2007, 2008). Концентрацию общего белка в крови и тканевой жидкости определяли микробиуретовым методом (Itzhaki et al., 1964), отдельных белков и фракций – с использованием программного пакета OneDscan.

В экспериментах по адаптациям рыб к солености использовали лещей и плотву (0<sup>+</sup>, 1<sup>+</sup>, 2<sup>+</sup>, 3<sup>+</sup>, 4<sup>+</sup>), полученных в результате внутривидовых групповых скрещиваний; рыб одного возраста размещали в аквариумах и постепенно добавляли поваренную соль до 8, 10 и 11,5‰. В остром опыте рыб без предварительной адаптации помещали в воду с соленостью 20‰. В контрольной группе соль к воде не добавляли.

Для оценки структурной организации белка по типу мономер/олигомер белки дифференцировали в градиенте концентраций ПААГ (5–40%), в ПААГ с 8М мочевиной и в SDS-ПААГ (Андреева, 2001; Андреева и др. 2007, 2008). Гликопротеиды и липопротеиды выявляли методами Шиффа и Суданом черным Б соответственно, углеводы в структуре белка определяли методом PAS (Гааль и др., 1982). Для определения ММ нативных белков в ПААГ использовали маркеры сывороточный альбумин человека САЧ, овальбумин ОА; в SDS-ПААГ набор PageRuler™ Prestained Protein Ladder Plus (Fermentas) маркеров с ММ 11, 17, 28, 36, 55, 72, 95, 130, 250 kDa. Результаты обрабатывались статистически с помощью программного пакета OneDscan.

## Результаты и обсуждение

**1. Доказательство существования белков-олигомеров в крови рыб.** Анализ степени дифференциации белков на двухмерных электрофореграммах показал, что при одинаковой степени дифференциации нативных белков СК (20–28 компонентов), количество субъединиц, формирующих их разнообразие в разных таксонах, различается существенно (Табл.).

### Степень дифференциации белков сыворотки крови костистых рыб в нативных и денатурирующих условиях двумерного электрофореза

Таксономическая группа рыб	Количество компонентов в ПААГ (нативные условия)	Количество компонентов в ПААГ (денатурирующие условия)	
		8М мочевиная	SDS
Хрящевые рыбы:			
<i>Акула</i>	28		13
<i>Скаты</i>	20	10	17
Хрящевые ганоиды			
<i>Туводные</i>	24	26	46
<i>Проходные</i>	28	25	41
Костистые рыбы:			
<i>Морские</i>	26	17	43
<i>Пресноводные</i>	26	54	98

Так, разнообразие белков у хрящевых рыб обеспечено небольшим числом субъединиц (13–17). У костных рыб в создании белкового разнообразия задействовано большее число субъединиц: у хрящевых ганоидов их больше в три раза (46), а у пресноводных костистых рыб – в 7,5 раз (98) по сравнению с катраном (13). При разрыве водородных связей с помощью 8М мочевины количество компонентов по сравнению с нативными белками у хрящевых ганоидов практически не меняется, а у пресноводных костистых рыб возрастает в 2 раза – с 26 до 54 компонентов. Рост числа субъединиц, формирующих белковое разнообразие у пресноводных костистых рыб, объясняется наличием в их крови олигомерных белков.

**2. К какой группе сывороточных белков относятся белки-олигомеры?** Какие сывороточные белки объединяются в олигомеры, диссоциирующие под действием 8М мочевины? Прежде всего, это молекулы иммуноглобулина H2L2, объединяющиеся в молекулы (H2L2)<sub>n</sub>, где степень агрегации «n» выше единицы. 8М мочевиная разбивает агрегаты на отдельные молекулы



H2L2, но это не вносит дополнительный вклад в разнообразие субъединиц: если в условиях 8M мочевины на электрофореграмме выявляется один компонент с ММ около 180 kDa, то без мочевины вместо него будет выявляться также один компонент с ММ (180 × n) kDa; в SDS-ПААГ для молекул H2L2 и (H2L2)<sub>n</sub> качественный состав субъединиц будет одинаков (Андреева, 2001).

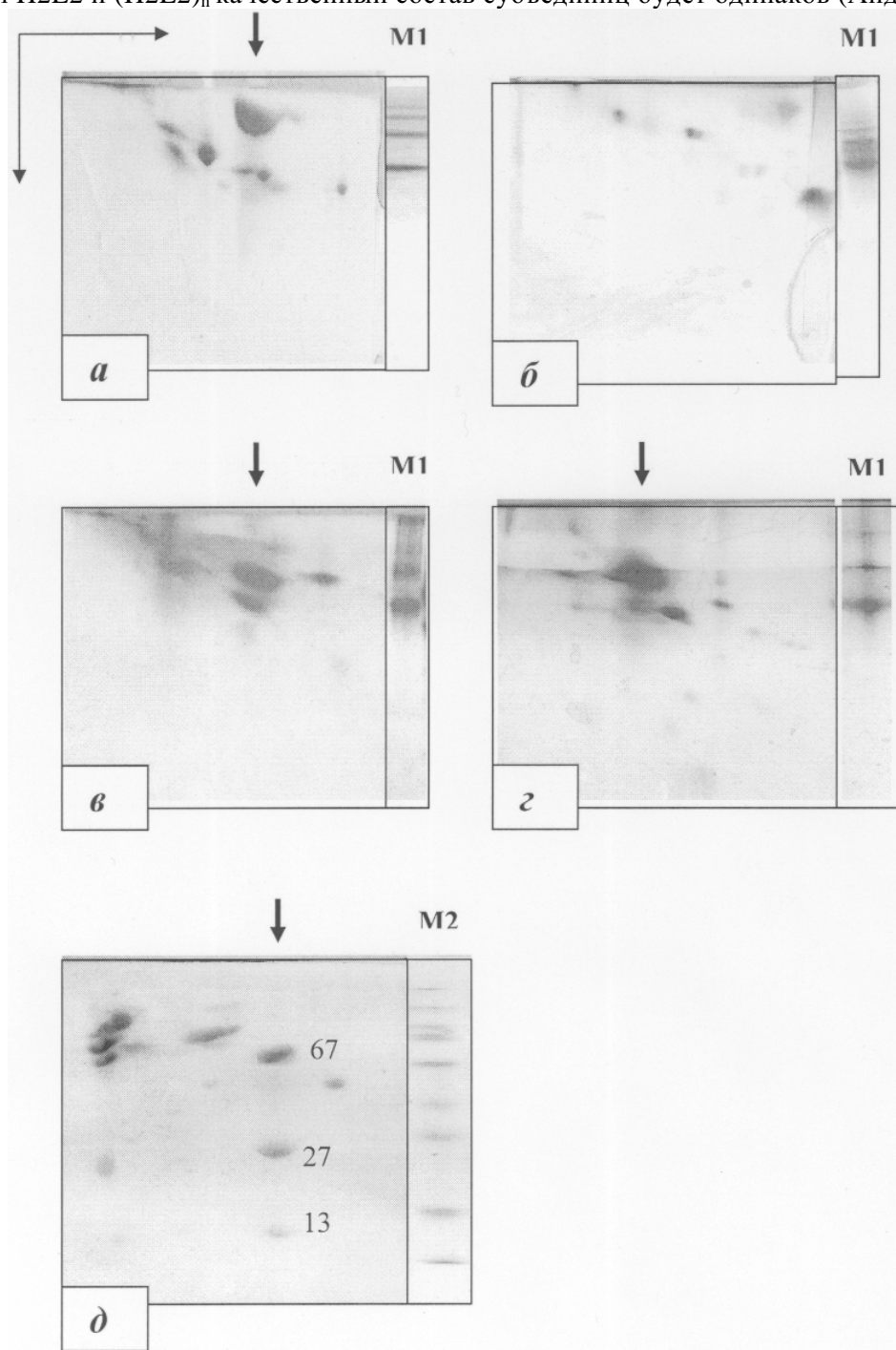


Рис. 1. Диск-электрофорез сывороточных белков: леща (1, 2), судака (3, 4), синца (5, 6), уклей (7), чехони (8), густеры (9, 10), щуки (11); керчака (12), камбалы (13), трески (14); красноперки (15, 16). Вертикальная стрелка указывает направление диск-электрофореза, светлые стрелки указывают зону подвижности белков-олигомеров

Рост числа субъединиц, формирующих белковое разнообразие у пресноводных костистых рыб, обеспечен белком-олигомером, представленным в диск-электрофорезе в виде пятна

с нечеткими контурами (Рис.1). Его положение в геле динамично – в разные сезоны и стадии зрелости гонад его можно отнести то к  $\beta$ - и  $\alpha_1$ - глобулинам, то к альбуминам. В его состав входит до 13 субъединиц с ММ от 13 до 73 kDa, стабилизированных в олигомере слабыми нековалентными взаимодействиями (Рис.2). Это доказывается одинаковым числом субъединиц олигомера в электрофорезе с 8М мочевиной и в SDS-ПААГ в восстанавливающих условиях (рис. 2, а, д). Величина ММ нативного белка достигает 120 kDa, снижаясь перед нерестом до 90 kDa. Высокие показатели ММ объясняются, вероятно, его участием в транспорте углеводов и липидов (белок окрашивается реактивом Шиффа и Суданом черным Б). В SDS-ПААГ среди субъединиц олигомера выделяется макрокомпонент с ММ около 67 kDa – сывороточный альбумин (Рис.2, д). У леща, плотвы, судака, щуки, кроме этого макрокомпонента, выявлены белки с ММ около 27 и 13 kDa (Рис.2, д). В структуре альбумина методом PAS выявлены углеводы. Их наличие может способствовать межмолекулярным взаимодействиям альбумина с другими белками и, в конечном счете, образованию олигомера. Таким образом, «ядром» олигомера является альбумин, с которым с помощью слабых взаимодействий связаны другие белки.

**3. Поиск белков-олигомеров в крови морских видов.** В крови морских рыб белки-олигомеры не обнаружены. В сыворотке керчака обнаружен компонент с нечеткими контурами (Рис.1), однако, уже в градиенте ПААГ он «разваливался» на три белка. Вероятно, белки керчака проявляют некоторую склонность к комплексообразованию, но участвующие в этом слабые межмолекулярные силы недостаточны для поддержания стабильного белкового комплекса.

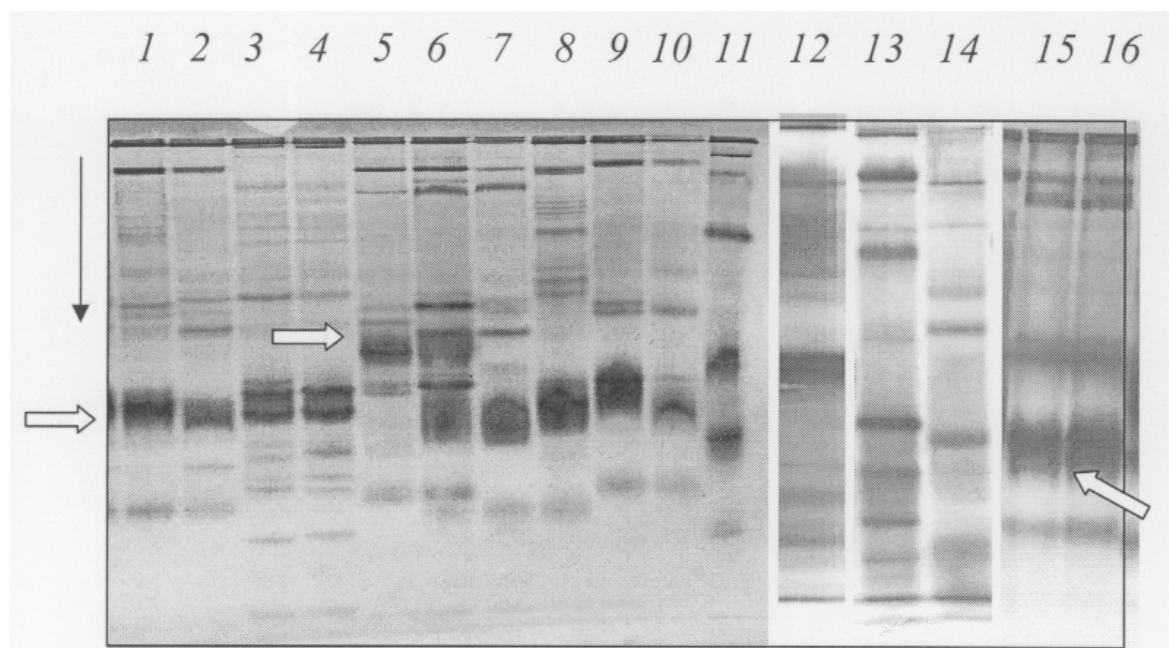
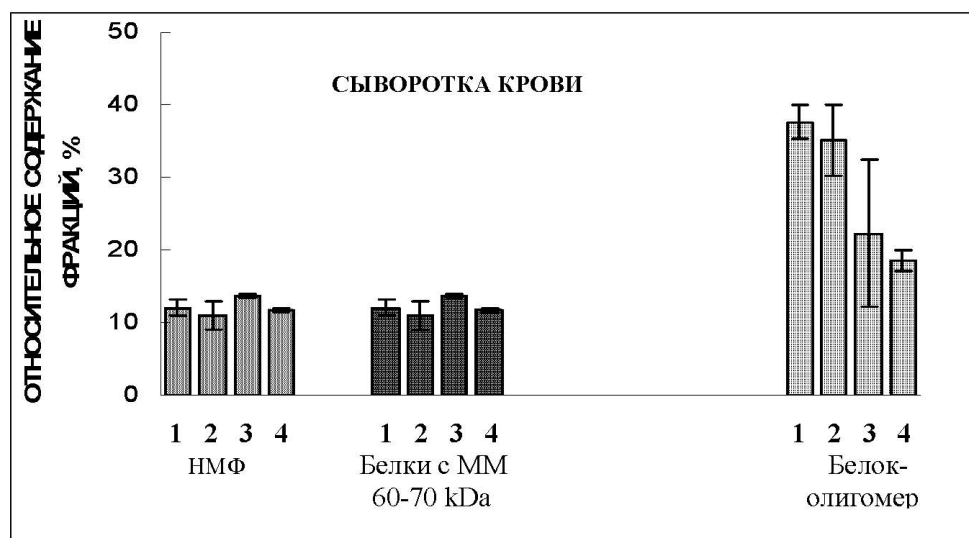


Рис. 2. Двухмерный электрофорез в ПААГ с 8М мочевиной белков сыворотки крови леща (а), бычка-кругляка (б), тюльки (в) и красноперки (г); в SDS-ПААГ – сыворотки плотвы (д). Горизонтальная стрелка указывает направление диск-электрофореза, вертикальная – электрофореза с мочевиной или SDS, маленькие вертикальные стрелки – дорожку олигомерного белка, светлые стрелки – белки с ММ около 67 и 25 kDa. M1 – маркер ЧСА, M2 – маркер Fermentas

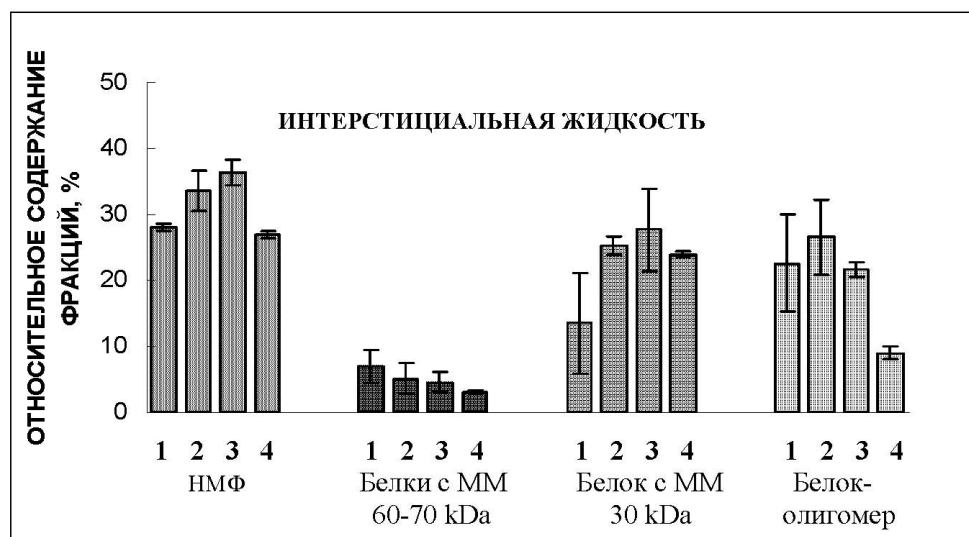
**4. Поиск белков-олигомеров в крови солоноватоводных и проходных видов.** У тюльки и проходной красноперки белки-олигомеры обнаружены (Рис.1), в условиях мочевины они диссоциировали на 6 (тюлька) и 13 (красноперка) субъединиц (Рис.2).

**5. Диссоциация белков-олигомеров на субъединицы при адаптациях леща и плотвы к условиям повышенной солености.** Все образцы ИЖ рыб являются фильтрами ПК (Андреева и др., 2007, 2008). Отличием ИЖ является высокое относительное содержание низкомолекулярных белков, маркером которых является макрокомпонент с ММ около 25 kDa. В условиях солености воды 8 и 10‰ изменений фракционного состава белков ПК по сравнению с контрольной группой рыб

(из пресной воды) не выявлено. Выраженные изменения фракционного состава белков в ПК и ИЖ выявлены при солёности 11,5‰ и 20‰: с ростом солёности воды в СК лещей и плотвы относительное содержание белка-олигомера снижалось почти в два раза, при этом нарастания относительного содержания низкомолекулярных белков не было отмечено. В ИЖБМ рост солёности также приводил к резкому снижению относительного содержания белка-олигомера (в 3–4 раза), но при этом отмечался рост относительного содержания низкомолекулярных белков, в особенности белка с ММ 30 kDa (Рис.3). Таким образом, рост солёности воды приводил к снижению относительного содержания белка-олигомера и в СК, и в ИЖ, но это событие совпадало с ростом относительного содержания низкомолекулярных белков только в ИЖ. Данное обстоятельство позволяет предположить, что при повышенной солёности пул низкомолекулярных белков в ИЖ пополняется за счёт диссоциации белка-олигомера.



*a*



*б*

Рис.3. Относительное содержание олигомерного белка и белков низкомолекулярных фракций НМФ (с ММ 60–70 и 30 kDa) в сыворотке крови (*a*) и интерстициальной жидкости мышц (*б*) лещей 2<sup>+</sup> при адаптациях к солёности: 1 – пресная вода, 2 – солёность 8‰, 3 – солёность 10‰, 4 – солёность 11,5‰. Разной заливкой выделены НМФ, белки с ММ 60–70 kDa, белок с ММ 30 kDa и белок-олигомер

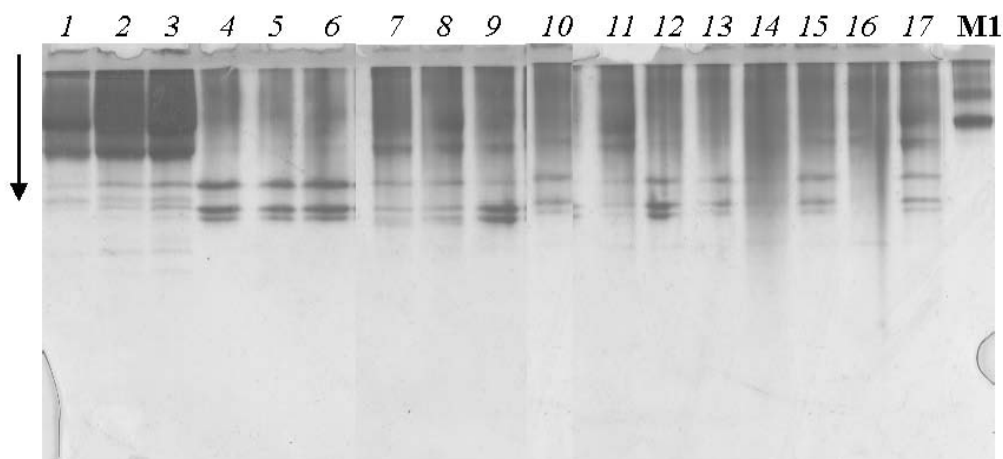


Рис.4. Электрофорез в ПААГ с 8М мочевиной белков сыворотки крови (1–3) и тканевой жидкости мозга (4–6), перитонеальной жидкости (7–9), жидкости белых мышц (10–17). Вертикальная стрелка указывает направление электрофореза, M1 – САЧ

Если низкомолекулярные белки, характерные для ИЖ, происходят из белков ПК и образуются при диссоциации белка-олигомера, то субъединичный состав белков ПК и ИЖ рыб должен совпадать, различия же будут касаться только относительного содержания фракций. Результаты действительно показали принципиальное сходство субъединичного состава белков ПК и ИЖ, выявлено сходство ПК и ИЖ и в ПААГ с мочевиной (Рис.4). Доказательством формирования пула низкомолекулярных белков из олигомера служит и тот факт, что в его составе есть субъединица с ММ около 27 kDa, и такой же белок (ММ около 25 kDa) присутствует в ИЖ.

### Заключение

Среди различающихся по типу водно-солевого обмена рыб белок-олигомер обнаруживается только у видов, связанных с пресными водами: у пресноводных рыб, проходной красноперки, солонатоводной тюльки. У туводных морских видов белки-олигомеры не обнаружены. Почему олигомеры обнаружены только у рыб, так или иначе связанных с пресной водой? Вероятно, их появление связано с особенностями становления внутренней жидкой среды в эволюции рыб. Историческое прошлое костистых рыб предположительно связано с длительной фазой жизни в море и дальнейшим освоением пресных вод (Ромер, Парсонс, 1992), Учитывая этот факт и предположение о формировании первичных белковых систем в соответствии с соленостью внутренней жидкой среды организма около 5–8‰ (Хлебович, 1974), можно предположить, что во внеклеточной среде древних морских рыб белки существовали в виде отдельных полипептидных цепей, которые в ходе освоения рыбами пресных вод объединялись в белковые комплексы. Морским видам в условиях гипертоничной внешней среды для удержания воды в организме, возможно, «выгоднее» иметь в крови больше белков-мономеров, так как образование олигомеров снизило бы онкотическое давление крови. Белкам пресноводных рыб в силу гипертоничности внутренних жидкостей в пресных водах не угрожает дегидратация, наоборот – организм постоянно откачивает лишнюю воду, поэтому образование олигомеров способствовало снижению онкотического и общего осмотического давления крови. Приобретение пресноводными костистыми рыбами механизма быстрой «настройки» онкотического давления внеклеточных жидкостей организма за счет диссоциации белков-олигомеров, несомненно, не могло не способствовать высокой приспособляемости этой группы рыб.

### Литература

- Андреева А.М., 1999. Структурно-функциональная организация альбуминовой системы крови рыб // Вопр. ихтиологии. Т. 39. №6. С. 825–832.
- Андреева А.М., 2001. Сывороточные  $\gamma$ -глобулины рыб // Вопр. ихтиологии. Т. 41. №4. С. 550–556.
- Андреева А.М., Чалов Ю.П., Рябцева И.П., 2007. Особенности распределения белков плазмы между специализированными компартментами внутренней среды на примере карпа *Cyprinus carpio* (L.) // Журн. эвол. биох и физиол. Т.43. №6. С.501–504.

Андреева А.М., Рябцева И.П., Большаков В.В., 2008. Анализ проницаемости капилляров разных отделов микроциркуляторной системы для белков плазмы у некоторых представителей костистых рыб // Журн. эвол. биох и физиол. Т.44. №2. С.212–214.

Гааль Э., Медьеша Г., Верецкей Л., 1982. Электрофорез в разделении биологических макромолекул. М.: Мир, 448 с.

Ромер А., Парсонс Т., 1992. Анатомия позвоночных. В 2-х томах. М.: Мир.

Хлебович В.В., 1974. Критическая соленость биологических процессов. Л.: Наука, 236с.

Шульц Г., Ширмер Р., 1982. Принципы структурной организации белков. М.: Мир. 354 с.

Itzhaki R.F., Gill D.M., 1964. A micro- biuret method for estimating protein // Anal.Biochem. Vol.9. P.401–410.

## **THE ROLE OF OLIGOMEROUS PLASMA PROTEINS IN STABILIZATION OF WATER METABOLISM FROM BONY FISHES**

**A.M. Andreeva**

Institute of Internal Waters Biology, Russian Academy of Sciences, Borok,  
Yaroslavl Oblast, Russia, e-mail: aam@ibiw.yaroslavl.ru

In the blood of freshwater bony fishes in the fraction of albumins the protein-oligomers, capable of the dissociation to the components of their subunit with the content of fishes in the conditions of the increased salinity (higher than 10‰) are revealed. The dissociation of oligomeric proteins occurred in the course of their transcapillary transport into the interstitial liquid. Protein-oligomers were encountered only in those fishes, whose life cycle was connected with the fresh waters, in nonmigratory marine fishes such proteins were not discovered. The appearance of the serum proteins-oligomers in taxon Teleostei can be connected with the formation of the internal environment in the sea ancestors of bony fishes and with the subsequent mastery by them fresh waters. Taking also into consideration the formation of primary protein systems with the salinity of the internal environment of about 8‰ (Хлебович, 1974), we assume that the proteins of ancient marine fishes could exist in the internal environment in the form of the separate polypeptide, which in the course of mastery the fishes of fresh waters were united into the complexes for reduction in the value of the oncotic pressure of the blood, which stabilized the processes of filtration in the organism of fishes under the conditions of fresh waters.

## **АДАПТАЦИИ ДЫХАТЕЛЬНОЙ ФУНКЦИИ КРОВИ У ПРЕСНОВОДНЫХ КОСТИСТЫХ РЫБ**

**А.М. Андреева, И.П. Рябцева, В.В. Лукьяненко**

Учреждение Российской академии наук Институт биологии внутренних вод  
им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Ярославская обл., Россия  
e-mail: aam@ibiw.yaroslavl.ru

### **Введение**

Дыхание, наряду с питанием и репродукцией, относится к числу наиболее важных функций организма. Его стабильность поддерживается на всех суборганизменных уровнях: молекулярном, биохимическом, клеточном и тканевом. У рыб, как представителей эктотермных организмов, дыхательные адаптации крови теснейшим образом связаны с внешней средой, так как кровь опосредует воздействия этой среды на организм. Основным носителем дыхательной функции крови является белок гемоглобин, заключенный в эритроциты. По прочности стенки эритроцита к дестабилизирующим факторам костистые рыбы среди *Pisces* занимают особое положение: у большинства костистых рыб отмечается практически перманентный гемолиз эритроцитов, в результате которого в крови присутствует внеклеточный гемоглобин (Андреева, 1997, 2008). Остается неясным, в какой форме находится в крови внеклеточный гемоглобин и как при этом поддерживается стабильность внутренней среды организма у костистых рыб.

Целью работы является исследование механизмов стабилизации дыхательной функции крови на разных суборганизменных уровнях у пресноводных костистых рыб. Для этого мы изучали устойчивость гемоглобина и эритроцитов костистых рыб к действию различных дестабилизирующих факторов.



## Материалы и методы

**1. Видовой состав рыб.** Исследовали гемоглобины и эритроциты у пресноводных костистых рыб: щуки обыкновенной *Esox lucius* L., леща *Abramis brama* L., синца *Abramis ballerus* L., карася серебряного *Carassius auratus* L., чехони *Pelecus cultratus* L., плотвы *Rutilus rutilus* L., судака обыкновенного *Stizostedion lucioperca* L., берша *St. volgensis* G., пеляди *Coregonus peled* G., тюльки черноморско-каспийская *Clupeonella cultriventris* N., ряпушки европейской *Coregonus albula* L., отловленных в Рыбинском водохранилище. Для сравнения использовали морских рыб: смарида *Spicara flexuosa* R., ставриду *Trachurus mediterraneus* S., атерину *Atherina hepsetus* L., бычка-кругляка *Neogobius melanostomus* P., мерланга *Merlangus merlangus euxinus* N., скорпену *Scorpena porcus* L., морского налима *Gaidropsarus mediterraneus* L., кефаль-сингиль *Lisa aurata* R., отловленных в Черном море, и мелкочешуйную красноперку угай *Tribolodon brandtii* D., отловленную в Японском море. Для исследования устойчивости гемоглобина и эритроцитов в онтогенезе использовали генерации леща и плотвы (сеголетков, годовичков, двух-, трех-, четырехлеток). Всего проанализировано свыше 1000 экземпляров рыб, относящихся к 20 видам, 18 родам, 13 семействам, 8 отрядам.

**2. Методы.** Внеклеточный гемоглобин выявляли спектрофотометрически по поглощению сыворотки в области Сорэ, учитывая поглощение при 410 нм трансферрина (Андреева, 1997). Для оценки структурной устойчивости гемоглобина и эритроцитов к гемолизу исследовали: 1) действие сульфата аммония на гемоглобин и переход окси-гемоглобина в мет-форму под его действием, 2) гемолиз эритроцитов в гипотонических растворах NaCl и под действием кислот, 3) действие комплекса факторов: голодания, высоких температур, отсутствие нереста – на устойчивость гемоглобина и эритроцитов, 4) действие солености воды (4; 6; 8; 10; 11,5 и 20 ‰) на устойчивость гемоглобина и эритроцитов.

1) Для оценки структурной устойчивости гемоглобина использовали метод дегидратации белка под действием соли (Андреева, 1987а,б; 1997, 2006) с модификациями. Раствор гемоглобина помещали в раствор сульфата аммония с разным насыщением (от 5 до 100% насыщения), оставляли на 12 часов. Действие соли на белок оценивали по изменению растворимости белка и  $\lambda_{\text{макс}}$  в области полосы Сорэ. Концентрацию соли, при которой гемоглобин начинал выпадать в осадок, считали критической концентрацией преципитации – *ККП* (Андреева, 1997, 2006). Устойчивым считали гемоглобин с высокой *ККП*, остающийся после действия соли в рабочей окси-форме с  $\lambda_{\text{макс}}$  около 412–413 нм, неустойчивым – гемоглобин с признаками структурной деградации (деструкция белка на гем и глобин, выявляемые электрофоретически), преципитирующий при низких концентрациях соли с преобладанием нерабочей мет-формы ( $\lambda_{\text{макс}}$  около 406 нм) (Андреева, 1997, 2006).

2) Гемолиз эритроцитов проводили в растворах с разным разбавлением физиологического раствора: 0,9%; 0,81; 0,72; 0,63; 0,54; 0,45; 0,36; 0,27; 0,18 и 0,09% NaCl; дист.вода. Гемолиз оценивали спектрофотометрически в области полосы Сорэ. Кислотный гемолиз проводили по прописи (Терсков, Гительзон, 1957).

3) Опыты по действию комплекса факторов: голодания на фоне высоких летних температур у рыб, готовых к нересту, но не отнерестившихся – проводили на выборке серебряных карасей из размерной группы 12,8–15 см, отловленных весной до наступления нереста в ихтиологическом канале Рыбинского водохранилища. Карасей содержали без пищи 5 месяцев в аквариумах, контрольную группу – в условиях избытка корма, вторую контрольную группу составляли рыбы из природного водоема. Микроскопические исследования клеток крови проводили на окрашенных по Романовскому-Гимза препаратах при общем увеличении  $\times 1400$ . В каждом мазке анализировали не менее 500 клеток эритроидного ряда. Для получения ДНК крови последнюю смешивали с 0,5М ЭДТА pH 8,0 в соотношении 10:1 по объему, далее следовали протоколу (Mathew, 1984). Очищенную ДНК фракционировали в 1% агарозе, после электрофореза окрашивали бромистым этидием (Маниатис и др., 1984). В качестве маркера молекулярной массы использовали Lambda DNA/PstI Marker.

4) Эксперименты по влиянию солености воды (4; 6; 8; 10; 11,5 и 20 ‰) на устойчивость гемоглобина и эритроцитов проводили на выборках сеголетков, годовичков, 2-х, 3-х, 4-х-леток леща и плотвы, полученных путем внутривидовых групповых скрещиваний на прудово-экспериментальной базе Сунога ИБВВ РАН.

Концентрацию гемоглобина в растворе определяли микробиуретовым методом (Itzhaki et al., 1964) или по эмпирической кривой (Андреева, 2001), отдельных белков – с помощью программного пакета OneDscan. Электрофорез белков сыворотки, плазмы крови и гемоглобина проводили в гра-

диенте концентраций ПААГ (5–40%) и SDS-ПААГ. Для определения ММ нативных молекул использовали маркеры сывороточный альбумин человека САЧ, овальбумин ОА; в SDS-ПААГ – набор PageRuler™ Prestained Protein Ladder Plus (Fermentas) маркеров с ММ 11, 17, 28, 36, 55, 72, 95, 130, 250 kDa. Результаты обрабатывались статистически с помощью программного пакета OneDscan.

## Результаты и обсуждение

**1. Выявление внеклеточного гемоглобина в сыворотке крови рыб.** Внеклеточный гемоглобин выявлен у всех исследованных видов пресноводных рыб за исключением щуки. Большинство исследованных образцов сыворотки поглощало при 406 нм, 410, 414 (или 416) нм. Поскольку трансферрин костистых рыб поглощает при 410 нм (Андреева, 1997), а при 414 (или 416) нм поглощал очищенный эритроцитарный гемоглобин этих же экземпляров рыб, то с внеэритроцитарным гемоглобином связывали поглощение в области Сорэ при 406 нм. Таким образом, внеклеточный гемоглобин находился в мет-форме. Несмотря на то, что сыворотки синца и карася, как правило, не имели следов гемолиза, именно у карася был отмечен случай обнаружения всего гемоглобина крови (вне- и внутриэритроцитарного) в мет-форме (см п.5).

### 2. Особенности структурной устойчивости гемоглобина рыб к дегидратации.

Дифференциация устойчивости гемоглобинов к дегидратации. По устойчивости гемоглобинов к дегидратации исследованные виды группировались в 2 основных типа – устойчивые и неустойчивые, и в 4 подгруппы: леща, судака, щуки и тюльки (Рис.1):

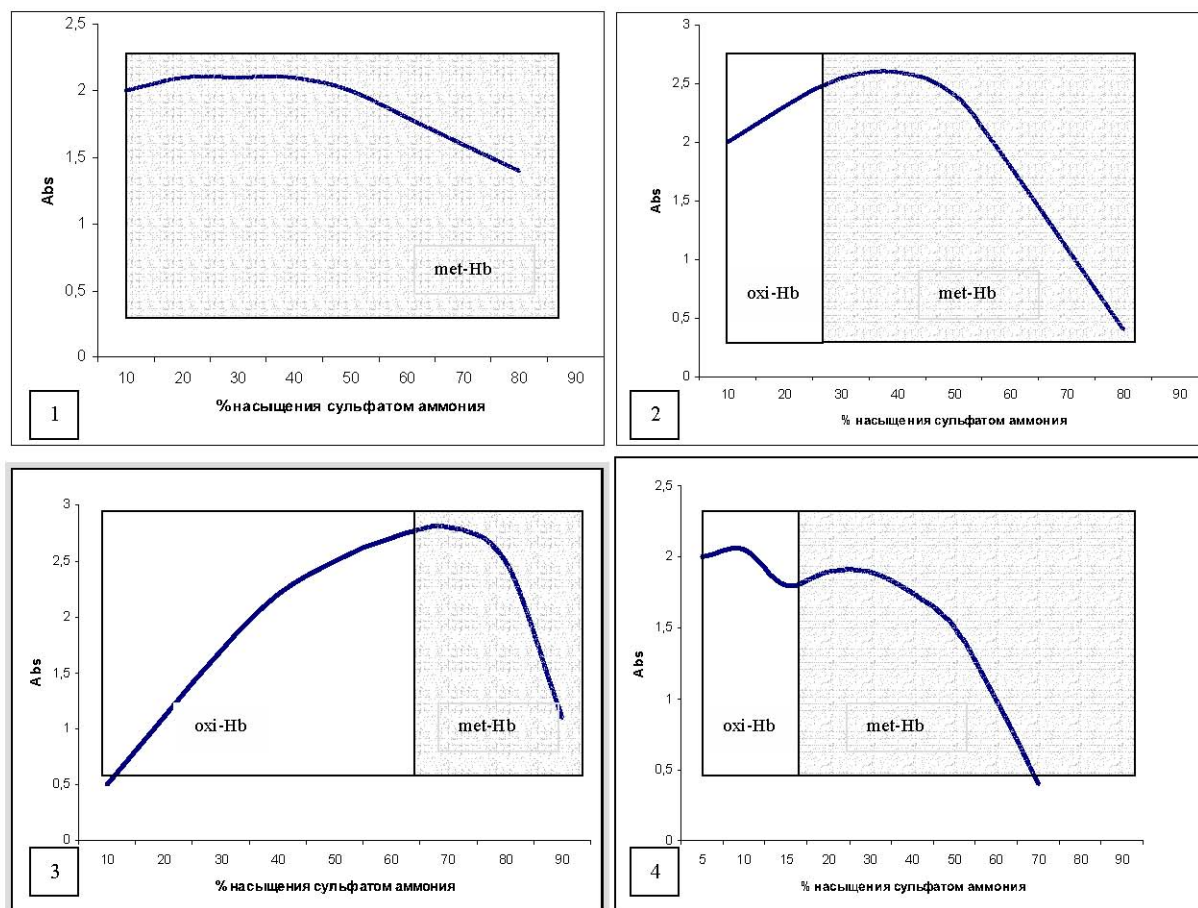


Рис.1. Кривые высаливания гемоглобина сульфатом аммония леща (1), судака (2), щуки (3) и тюльки (4)

1. Наиболее неустойчивым к дегидратации были гемоглобины леща и чехони. Они высаливались при 60% насыщения сульфата аммония и переходили в мет-форму при 5% насыщения сульфата аммония (Рис.1, 1). Несколько устойчивее были гемоглобины судака и берша: их  $KKП=65\%$  и при 5% насыщения соли они могли находиться в оксигенированной форме (Рис.1, 2).

2. К устойчивым относятся гемоглобины щуки и тюльки. Гемоглобин щуки может находиться в оксигенированной форме при 70% насыщения сульфата аммония и выше, его  $KKП=70$ , а накануне нереста гемоглобин не высаливается (Рис.1, 3). Гемоглобин тюльки также остается в оксигенированной форме при наличии сульфата аммония, под действием соли преципитирует по типу леща, однако, тип кривой выявляет разнокачественность гемоглобина по устойчивости к дегидратации (Рис.1, 4).

Таким образом, самый неустойчивый гемоглобин оказался у леща и самый устойчивый у щуки. Гемоглобины морских рыб были похожи на гемоглобин леща (имели низкие  $KKП$  и под действием соли переходили в мет-форму), несмотря на разную соленость среды обитания и тот факт, что дегидратации наиболее подвержены белки морских рыб. Наиболее устойчивыми оказались гемоглобины пресноводных рыб – щуки, серебряного карася, а также тюльки.

Сезонные различия устойчивости гемоглобина к дегидратации. При анализе сезонной динамики устойчивости белков к дегидратации гемоглобины леща и щуки показали противоположные тенденции: весной накануне нереста у половозрелых лещей наблюдалось снижение устойчивости гемоглобина к дегидратации, осенью – рост, а у щуки весной отмечен рост устойчивости гемоглобина, а осенью – снижение.

### 3. Изучение устойчивости эритроцитов рыб к гемолизу под действием дестабилизирующих факторов.

Устойчивость эритроцитов рыб к осмотическому шоку и кислотному гемолизу. Наиболее устойчивыми к осмотическому шоку оказались эритроциты тюльки: их полный гемолиз происходил в 0,09–0,18%-ном растворе NaCl. У щуки, синца, карася и смарида эритроциты гемолизировали в 0,27%-ном растворе NaCl. У других видов эритроциты были менее устойчивы: их гемолиз происходил при 0,36 – 0,63% NaCl. Дифференциация рыб по скорости кислотного гемолиза эритроцитов практически совпадала с таковой к осмотическому шоку.

Сезонные различия устойчивости эритроцитов к осмотическому шоку. Сезонная направленность устойчивости эритроцитов в подгруппе леща и щуки совпадала – в летний период эритроциты легче гемолизировали, осенью были более устойчивы, что можно объяснить действием температуры воды.

Дифференциация устойчивости к гемолизу молодых и зрелых эритроцитов. У синца молодые эритроциты не гемолизировали даже в дист.воде, у леща молодые и зрелые эритроциты гемолизировали при одних и тех же разведениях физ.раствора, у красноперки эритроциты были дифференцированы по устойчивости к гемолизу.

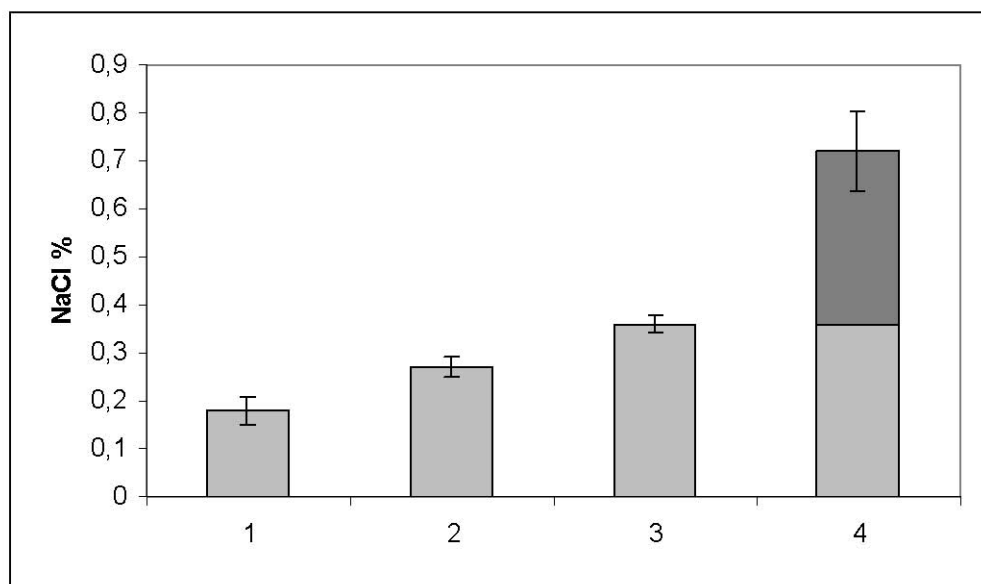


Рис.2. Динамика устойчивости гемоглобинов к высаливанию сульфатом аммония у плотвы: 1 – сеголетков, 2 – годовичков, 3 – двухлеток, 4 – трехлеток, 5 – четырехлеток и 6 – половозрелых рыб

**4. Формирование устойчивости гемоглобина и эритроцитов в онтогенезе леща и плотвы.** В онтогенезе леща и плотвы самым неустойчивым оказался гемоглобин сеголетков, в то время как их эритроциты были наиболее устойчивыми к гемолизу, в том числе и ки-

слотному (Рис.2, 3). Таким образом, повышенная устойчивость эритроцитов компенсирует структурную нестабильность гемоглобина сеголеток, предохраняя его от дестабилизирующих факторов внутренней и внешней среды, что характеризует стратегию стабилизации дыхательной функции крови в раннем развитии леща и плотвы.

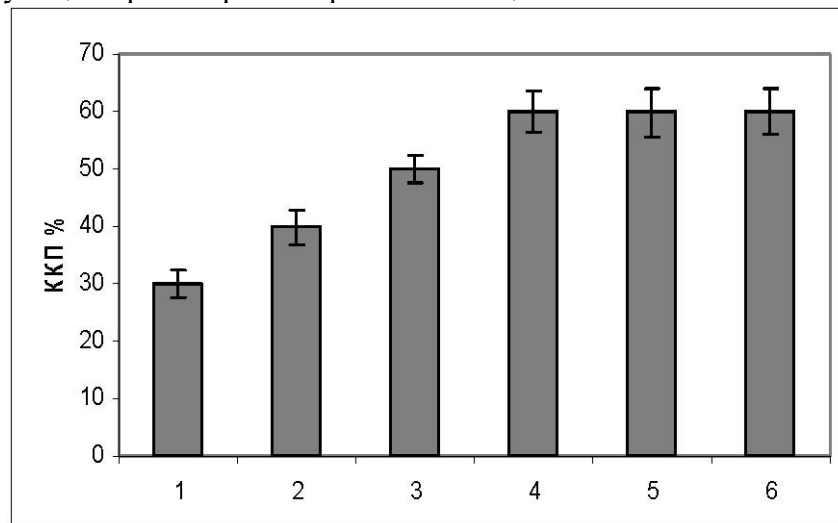


Рис.3. Динамика устойчивости эритроцитов к гемолизу в гипотонических растворах NaCl (0–0,9%) плотвы: 1 – сеголетков, 2 – годовичков, 3 – двухлеток, 4 – трех-, четырехлеток и половозрелых рыб. Серой заливкой обозначена динамика устойчивости эритроцитов в летний период, темной заливкой – в осенний период

Согласованность параметров структурной устойчивости гемоглобина и эритроцитов. У половозрелого леща и плотвы зрелые и молодые клетки эритроидного ряда не отличались по устойчивости к гемолизу, а их гемоглобины были однородны по устойчивости к дегидратации. У синца и красноперки выявлена дифференциальная устойчивость эритроцитов при одинаковых параметрах структурной устойчивости гемоглобина, у тюльки имела место разнокачественность гемоглобина по параметру его структурной устойчивости.

**5. Стратегия стабилизации дыхательной функции крови рыб при неблагоприятном сочетании факторов среды.** Согласование дыхательных адаптаций на разных суборганизменных уровнях мы изучали на примере серебряного карася, которого содержали в условиях неблагоприятного сочетания факторов. При добавлении к крови голодающих в течение 3 месяцев рыб раствора ЭДТА был зарегистрирован случай спонтанного гемолиза эритроцитов, весь гемоглобин при этом находился в мет-форме. У питающихся и остальных длительно голодающих рыб добавление ЭДТА не провоцировало гемолиз эритроцитов, Hb находился в окси- и дезоксиформе. На мазках цельной крови голодных рыб зрелые эритроциты составили около 98% от общего количества клеток эритроидного ряда, у питающихся рыб были выявлены клетки всех стадий эритроидного ряда: около 10% составили незрелые формы, около 4% – делящиеся формы и 86 % – зрелые эритроциты.

Электрофоретический анализ тотальной ДНК из крови голодного карася, чьи эритроциты гемолизировали, выявил апоптотические спектры деградации ДНК, у других рыб ДНК была без следов фрагментации (Рис.4).

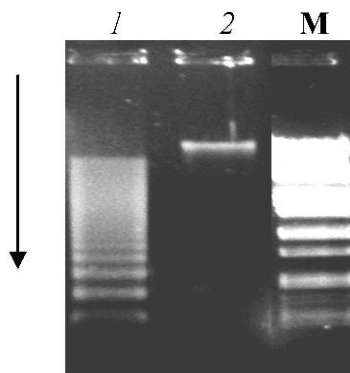


Рис.4. Горизонтальный электрофорез в агарозе ДНК из крови 1 – голодающего серебряного карася; 2 – карася из водоема; 3 – маркер MM Lambda DNA/PstI Marker. Вертикальная стрелка указывает направление электрофореза

Голодание для рыб не является экстремальным фактором, так как значительные периоды в своем жизненном цикле рыбы голодают, но, когда голодание накладывается на сезонную динамику летне-осеннего периода с высоким уровнем обменных процессов, задаваемых температурой, фактор голодания выступает как экстремальный дестабилизирующий. Характерные признаки программируемой гибели могли быть следствием переустановки организменного гомеостаза у рыб с режима перманентного эритропоэза к режиму дискретного эритропоэза и апоптоза в условиях экстремального сочетания факторов. Основная роль в стратегии дыхательной функции крови принадлежит режиму эритропоэза, который зависит от питания, стадии зрелости гонад, условий прохождения нереста, но зависит опосредованно – через температурные показатели воды (Солдатов, 2005).

**6. Механизмы стабилизации внутренней жидкой среды рыб.** Среди пресноводных костистых рыб у видов, имеющих быстро деградирующий гемоглобин и склонные к внутрисосудистому гемолизу эритроциты, выстроена система оперативного связывания как Hb, так и продуктов его деградации, специализированными белками гаптоглобином, гемопексином и трансферрином, и, кроме того, неспециализированными белками – альбуминами и  $\gamma$ -глобулинами (Андреева, 1999, 2001). При связывании внеклеточного гемоглобина и продуктов его деградации эти белки проявляют пероксидазную активность (Андреева, 2001). В двухмерном SDS-электрофорезе на дорожках этих белков выявляются компоненты с ММ около 17 kDa, соответствующие субъединице гемоглобина (Андреева, 2001).

### Выводы

Таким образом, исследование дыхательной функции крови у костистых рыб выявило разнообразие стратегий ее стабилизации. Это стратегия компенсаторного типа в онтогенезе рыб, когда структурная неустойчивость белка компенсируется повышенной устойчивостью эритроцитов, это стратегия формирования разнокачественной устойчивости эритроцитов и стратегия стабилизации дыхания путем переустановки гомеостаза в экстремальных условиях, когда в дискретном режиме происходит замена всех эритроцитов. Перманентный гемолиз эритроцитов у костистых рыб не означает ослабления их дыхательной функции. У костистых рыб эта особенность эритроцитов компенсируется активной утилизацией внеклеточного цельного и частично деструктурированного гемоглобина специализированными и неспециализированными белками, которые стабилизируют внутреннюю среду организма, «очищая» ее от фрагментов разрушенного белка и способствующим стабилизации дыхательной функции крови. Этот механизм стабилизации дыхательной функции отсутствует у хрящевых рыб и хрящевых ганоидов, эритроциты которых устойчивы к гемолизу и в их крови отсутствует специализированный белок гаптоглобин, а другие белки крови также не связывают гемоглобин (Андреева, 1997).

### Литература

- Андреева А.М., 1987а. О структуре гемоглобина некоторых видов семейства Acipenseridae // Инф. Бюлл. ИБВВ АН СССР. №75. С.33–36.
- Андреева А.М., 1987б. Устойчивость гемоглобина осетровых рыб к дегидратирующему действию сульфата аммония // Инф. Бюлл. ИБВВ АН СССР. №76. С.56–59.
- Андреева А.М. Физико-химические свойства основных групп белков крови у различных по экологии и таксономическому положению представителей хрящевых, хрящевых ганоидов и костистых рыб: Автореф. дис....канд.биол.наук. Борок, 1997. 24с.
- Андреева А.М., 1999. Структурно-функциональная организация альбуминовой системы крови рыб // Вопр. ихтиологии. Т. 39.№0 6. С. 825–832.
- Андреева А.М., 2001. Сывороточные пероксидазы рыб // Вопр. ихтиологии. Т. 41. №1. С. 113–121.
- Андреева А.М., 2006. Влияние дестабилизирующих факторов на структурно-функциональные показатели гемоглобина туводных и проходных рыб // Журн. эвол. биох и физиол. Т.42. №6. С.537–543.
- Андреева А.М. Структурно-функциональная организация белков крови и некоторых других внеклеточных жидкостей рыб: Автореф. докт. дис.Москва, 2008. 40с.
- Гааль Э., Медьеша Г., Верецкеи Л., 1982. Электрофорез в разделении биологических макромолекул. М.: Мир, 448 с.
- Маниатис Т., Фрич Э., Сэмбрук Дж., 1984. Методы генетической инженерии. Молекулярное клонирование. М.:Мир, 480с.
- Солдатов А.А., 2005. Особенности организации и функционирования системы красной крови рыб // Журнал эвол. биохимии и физиол. Т.41. №3. С.217–224.



- Терсков И.А., Гительзон И.И., 1957. Метод химических кислотных эритрограмм. Биофизика, т.2. С.167–172.
- Itzhaki R.F., Gill D.M., 1964. A micro- biuret method for estimating protein // Anal.Biochem. Vol.9. P.401–410.
- Mathew C.G.P., 1984. The isolation of high molecular weight eukaryotic DNA // Methods in Molecular Biology/ Ed.Walker J.M.N.J.: Humana Press, Totowa. Vol.2. P.31–34.

## THE ADAPTATIONS OF RESPIRATORY FUNCTION OF THE BLOOD FROM FRESHWATER BONY FISHES

**A.M. Andreeva, I.P. Rjabtseva, V.V. Lukjanenko**

Papanin Institute of Internal Waters Biology, Russian Academy of Sciences, Borok,  
Yaroslavl Oblast, Russia, e-mail: aam@ibiw.yaroslavl.ru

The erythrocytes of bony fishes are subjected to intravascular hemolysis, and their hemoglobins easily are destroyed to the gem and the globin. The study of these special features of the blood of bony fishes showed that the stability of the respiratory function of the blood is supported with the aid of several basic strategies: 1) compensating type strategy in the ontogenesis of the fishes, when the structural instability of hemoglobin is compensated by the increased stability of erythrocytes to the hemolysis; 2) strategy of the formation of the differential stability of erythrocytes to the hemolysis, 3) strategy of the stabilization of respiration under the extreme conditions, when for the decomposition of erythrocytes and hemoglobin is used the mechanism of apoptosis, which removes in the discrete regime of the cell of an erythroid number. The stabilization of the liquid internal environment in this case is achieved by the utilization of extracellular hemoglobin both by the specialized and unspecialized proteins, which connect noncovalently hemoglobin and products of its destruction.

## НЕКОТОРЫЕ ПОДХОДЫ К ВОПРОСУ РАСОВОЙ ПОДРАЗДЕЛЕННОСТИ БЕЛОМОРСКОЙ СЕЛЬДИ (*CLUPEA PALLASI MARIS-ALBI* BERG)

**А.П. Андреева, А.В. Семенова, А.К. Карпов**

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия  
e-mail: seman2000@pochta.ru

Среди бореальных видов ихтиофауны Белого моря наиболее представительным является малоопозвонковая сельдь *Clupea harengus maris-albi* Berg. На сравнительно небольшом ареале обитает разнообразное сообщество сельдей, большую часть жизни связанное с прибрежными водами заливов. По свидетельству ряда исследователей беломорская сельдь подразделяется на отдельные расы или локальные стада на основании характерных для каждой из них биологических, морфологических показателей и привязанности их к определенным местам обитания. Детально такие вопросы начали разрабатываться с начала двадцатого столетия (Рабинерсон, 1925, 1927; Аверинцев, 1925, 1927; Дмитриев, 1946, 1957; Алтухов, 1963, 1975; Ерастова, 1963; Лапин и др., 1963; Лапин, 1966, 1978; Мухомедияров, 1975; Тамбовцев, 1975). Многолетние подходы к изучению расовой подразделенности сельди Белого моря, подтвержденной рядом наблюдаемых различий, явились таким образом основанием для деления малоопозвонковых беломорских сельдей на 5 локальных стад или рас – крупную, представленную кандалакшской («ивановской») и двинской и мелкую, подразделенную на 3 более мелкие расы: кандалакшскую («егорьевскую»), онежскую и «покровскую» (устье р.Онеги). Детальное изучение биологических и экологических характеристик отдельных стад привело к признанию их приуроченности к своим заливам или частям их с характерными стоковыми, гидрологическими, температурными, соленостными и иными свойствами (Аверинцев, 1925, 1927; Рабинерсон, 1925, 1927; Дмитриев, 1946 и др). Предполагалось, что обитание этих стад в биотопах, различающихся между собой рядом значимых показателей, проявились в свойствах биологических и морфологических характеристик, таких как время и условия нереста, особенности роста и весовых показателей одновозрастных групп и прочее.

Вопреки подобным утверждениям существует и другой взгляд, согласно которому вся малоопозвонковая беломорская сельдь представлена единым стадом с неограниченной миграцией из одного залива в другой, причем мелкие и крупные сельди различаются только по скорости роста и связанным с этим фактом наступления полового созревания (Лапин 1966, 1978). Авторы утверждают, что быстрорастущие особи мигрируют на север, а медленно растущие остаются в Двинском и

Онежском заливах. В свете представленных утверждений, в частности, важным является положение соловецкой сельди. В свое время А.И. Рабинерсон (1925) предположил, что крупная кандалакшская («ивановская») и крупная соловецкая сельди являются одной расой, но отличаются от мелкой, что нашло поддержку и со стороны Л.С. Берга (1948), А.П. Андрияшева (1954) и др. По представлению С.В. Аверинцева (1925) крупная соловецкая сельдь не схожа с «ивановской» и представляет самостоятельную расу, что нашло подтверждение в трудах К.А. Алтухова (1975). Основания для выделения базировались на следующем: крупная соловецкая сельдь отличалась от мелкой длиной головы, длиной грудных и спинного плавников. Отмечалось, что скорость роста мелкой соловецкой сельди выше, чем у онежской («покровской») и двинской. Нерест весенненерестующей мелкой соловецкой сельди происходит подо льдом, а у «егорьевской» он осуществляется несколько позже при более высоких температурах и по срокам совпадает с нерестом крупной соловецкой.

Неоднозначная оценка расовой подразделенности небольших локальных стад побудила нас также к исследованию генетического полиморфизма некоторых ферментных белков у соловецкой сельди, параллельно проводя сравнение с таковыми в кандалакшских и «покровских» выборках, полагая, что существенная разница между ними в экологических чертах отразится на свойствах ферментных белков, как и на биологических показателях. Ранее нами проводились исследования на ряде выборок беломорской сельди, но детального сравнения результатов на предмет подтверждения существования отдельных рас не проводилось (Семенова, Андреева и др., 2004).

### Материалы и методы

В работе проанализированы весенненерестующие сельди, выловленные в конце марта начале апреля 2006г во время нереста в Кандалакшском заливе (г.Чупа), Онежском ( в 23 км, западнее г.Онега) и в акватории Большого Соловецкого острова (г.Долгая и бухта Благополучия). Сведения об объеме выборок, местах и времени сбора представлены в таблице 1.

Сразу после вылова рыбу обрабатывали или замораживали при – 20°C и в таком виде доставляли в лабораторию для дальнейшего анализа. Проводили измерения согласно общепринятой методике: определяли длину тела (по Смтту), массу, пол, стадию зрелости гонад по шестибальной шкале, возраст по чешуе, просчитывали число позвонков без уростиля. Исследования аллозимной изменчивости проводили методом электрофореза в 10.5% крахмальном геле, используя гистидиновый гелевый и Na –цитратный электродный буфер pH 7.0. При окрашивании гелей для выявления зон активности ферментов применяли методы гистохимического окрашивания. Исследовали четыре ферментных локуса: *LDH-1\**, *LDH-2\**, *MDH-4\**, *GPI-1\**. Обозначение аллелей осуществляли по их подвижности в соответствии с общепринятой номенклатурой (Shaklee et al., 1991) и схемой, приведенной в работе Йорстада с соавторами (Jorstad et al., 1994). Статистическую обработку данных проводили с помощью критерия Стьюдента и F-критерия Фишера (Животовский, 1991).

Таблица 1

Объем и характеристики исследованного материала

Район вылова	Дата	Объем выборки	Стадия зрелости
Онежский залив	22.03.2006	214	V-VI
Кандалакшский з-в (г.Чупа)	08.04.2006	100	V
о.Соловецкий	28.04.2006	105	V

### Результаты и обсуждение

Основной задачей исследования было сравнение «мелких» малопозвонковых беломорских сельдей из вышеуказанных районов. Наблюдения показали, что у сельдей, выловленных в двух заливах Белого моря и прибрежных водах Большого Соловецкого острова, обнаружены отличия по ряду биологических показателей (табл.2).

При попарном сравнении показателей, характеризующих средние значения длины тела, возраста и числа позвонков, было установлено, что, с высокой степенью достоверности ( $p < 0.01$ ) по длине тела и возрасту различаются между собой выборки сельдей Онежского залива с одной стороны и кандалакшской и соловецкой с другой, в то же время по числу позвонков между сельдью «егорьевской» и соловецкой различий не обнаружено (табл. 3)

Таблица 2

**Исследованные биологических показатели сельдей**

Район	Средняя длина (АС)	Средний возраст	Среднее число позвонков
Онежский з-в	132.23 ± 0.73	3.24 ± 0.04	50.44 ± 0.17
Кандалакшский з-в	171.61 ± 0.61	5.25 ± 0.08	51.73 ± 0.14
о.Соловецкий	215.3 ± 1.92	4.37 ± 0.07	51.82 ± 0.15

Таблица 3

**Попарное сравнение биологических показателей сельдей**

Сравниваемые выборки	Средняя длина (АС)	Средний возраст	Среднее число позвонков
Онежский з-в / Кандалакшский з-в	xxx	xxx	xxx
Онежский з-в/ о. Соловецкий	xxx	xxx	xxx
Кандалакшский з-в/ о.Соловецкий	xxx	xxx	--

Примечание: xxx – различия достоверны при  $p < 0.01$ , -- различия недостоверны  $p > 0.05$

Следует также обратить внимание на различия в темпе роста у сельди исследуемых районов (табл. 4). Сопоставляя длины тела одновозрастных групп, отметим, что кандалакшская сельдь отличается наиболее замедленным ростом среди сравниваемых групп.

Таблица 4

**Средняя длина в годовых классах сельдей (см)**

Выборки	Возраст (годы)					
	2	3	4	5	6	7
Кандалакшский з-в		167,5 (2)	170,23±1,25 (13)	168,26±1,56(46)	171,22±1,11(36)	173,67±3,32 (3)
Онежский з-в	123,28±2,17(18)	130,76±0,83 (124)	139,02±1,17 (52)	143,80±2,77(5)	147,0 (1)	
о.Соловецкий		192,5 (2)	206,91±3,57 (75)	224,7±3,57 (44)	226,5±4,1 (34)	217,5 (2)

Примечание: в скобках указан объем выборки

Анализ, как морфо-биологической изменчивости, так и данные по частотам аллелей изучаемых ферментных систем (табл.5) у сельдей разных районов позволили выявить достоверные отличия между ними. Частоты аллелей выборках представлены на табл.6.

Таблица 5

**Значение U-критерия Фишера при попарном сравнении выборок по частотам аллелей полиморфных локусов<sup>120</sup>**

Сравниваемые выборки	<i>LDH-2*</i>	<i>MDH-4*</i>	<i>GPI-1*</i>
Онежский з-в / Кандалакшский з-в	2.28	0,5	0,8
Онежский з-в/ о. Соловецкий	0,807	2,35	1,07
Кандалакшский з-в/ о.Соловецкий	2,7	1,82	0,22

Примечание: жирным шрифтом обозначены значения критерия, при которых различия достоверны ( $p < 0.05-0.01$ )

Таблица 6

**Средневзвешенные частоты основных аллелей исследованных локусов**

Выборки	<i>LDH-1*200</i>	<i>LDH-2*120</i>	<i>MDH-4*100</i>	<i>GPI-2*150</i>
Кандалакшский з-в	1.000	0.943	0.896	0.689
Онежский з-в	1.000	0.860	0.876	0.641
о.Соловецкий	1.000	0.826	0.953	0.719

Таким образом, выявленные достоверные различия между исследованными выборками восточнорестурующей сельди Кандалакшского, Онежского заливов и из акватории Соловецких островов дают основание предполагать существование определенной репродуктивной изоляции между ними, однако для более детального уточнения этого положения необходимы дополнительные исследования.

### Литература

- Аверинцев С.В. 1925. Краткий предварительный обзор результатов работ по исследованию промысла беломорской сельди // Бюлл. рыбн. хоз. № 10. С.11–12.
- Аверинцев С.В. 1927. Сельди белого моря // Тр. НИИ рыбн. хоз. и океанографии. Т.2. Вып.1. С.41–47.
- Алтухов К.А. 1963. Размножение сельди в губе Чупа Кандалакшского залива // Материалы по комплексному изучению Белого моря. Т.2. С.100–113.
- Алтухов К.А. 1975. Сельдь Соловецких островов // Исследования фауны морей. Т.16 (24). Биология беломорской сельди. Л.: Наука. С.185–226.
- Алтухов К.А., Ерастова В.М. 1975. Сравнительная характеристика биологических показателей сельди мелкой расы Кандалакшского и Онежского заливов // Исследования фауны морей. Т. 16 (24). Биология беломорской сельди. Л.: Наука. С.26–37.
- Андрияшев А.П. 1954. Рыбы северных морей СССР. М. Изд. АН СССР. 566 с.
- Берг Л.С. 1948. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран. Изд. АН СССР. Т.1–3. 130 с.
- Дмитриев Н.А. 1946. Биология и промысел сельди в Белом море // Тр. НИИ морского рыбн. хоз. и океанографии. М. Пищепромиздат. С. 1–88.
- Ерастова В.М. 1963. О сходстве и различии биологических стад сельдей Онежского залива Белого моря // Проблемы исследования промысловых ресурсов Белого моря и внутренних водоемов Карелии. Вып. 1. С.75–81.
- Животовский Л.А. 1991. Популяционная биометрия. М. Наука. 283с.
- Лапин Ю.Е. 1976. Сельди Белого моря как биологическое целое // Закономерности динамики численности рыб Белого моря и его бассейна. М. Наука. С. 5–28.
- Лапин Ю.Е. 1978. Общая характеристика сельди Белого моря. // Экология рыб Белого моря. М. Наука. С. 37–52.
- Лапин Ю.Е., Анохина Л.Е., Богданов Г.А., Загородняя Н.Г., Чепракова Ю.И. 1963. Об особенностях локализации сельди Белого моря // Проблемы использования природных ресурсов Белого моря и внутренних водоемов Карелии. Вып.1. С.75–80.
- Мухомедияров Ф.Б. 1975. О динамике и структуре локальных популяций сельдей в заливах Белого моря // Исследования фауны морей. Биология беломорской сельди. Т.16 (24). Л.: Наука. С.38–52.
- Рабинерсон А.И. 1925. Материалы по исследованию беломорской сельди // Тр. НИИ по изучению севера. Вып.25. С. 34–47.
- Рабинерсон А.И. 1927. Беломорская сельдь и ее биологические особенности // Карело-Мурманский край № 12. С.36–49.
- Семенова А.В., Андреева А.П., Карпов А.К., Фролов С.Б., Феоктистов Е.И., Новиков Г.Г. 2004. Генетическая изменчивость сельдей рода *Clupea* Белого моря // Вопр. ихтиологии. Т.44. Вып.2. С.207–217.
- Тамбовцев Б.М. 1975. Особенности распределения, размножения и состояния запаса мелкой кандалакшской сельди // Исследования фауны морей. Биология беломорской сельди. Т.16 (24). М. Наука. С.5–25.
- Jorstad K.E., Dhal G, Paulsen O.I. 1994. Genetic comparison between Pacific herring (*Clupea pallasii*) and norwegian fjord stock of Atlantic herring (*Clupea harengus*) // Can. J. Fish. Aquat. Sci. V.51. Suppl 1. P.233–239.
- Shaklee J.B., Allendorf F.W., Morizot G.S., Whitt G.S. 1990. Gene nomenclature for protein coding loci in fish // Trans. Amer. Fish. Soc. V.119. P. 2–15.

### SOME WAYS TO PROBLEMS OF RACE SUBDIVIDED IN WHITE SEA HERRING (*CLUPEA PALLASSI MARIS-ALBI* BERG)

A.P. Andreeva, A.V. Semenova, A.K. Karpov  
Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia  
e-mail: seman2000@pochta.ru

The study is based on samples of spring spawning herring from Solovetskie island, Kandalaksha and Onega gulfs, collected in march – april 2006, principally during spawning or just after it. All specimens were subjected to a general biological analysis and an analysis of genetic variation. In the present study the data on the variation of herring by four polymorphous loci were used: *LDH 1\**, *LDH 2\**, *MDH 4\**, *GPI 1\**. The analysis of genetic variation revealed a significant difference between herring from the Kandalaksha gulf and herring from the Onega gulf and Solovetskie island (on *LDH 2\**), and between herring from the Onega gulf and ones from the Solovetskie island (on *MDH 4\**). The analysis biological data also revealed some difference between herring from different areas.

# МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПАРАЗИТА СИГОВЫХ РЫБ ЦЕСТОДЫ *PROTEOCEPHALUS LONGICOLLIS* (*PROTEOCEPHALIDAE*) В УСЛОВИЯХ ТРАНСФОРМАЦИИ ВОДНЫХ СООБЩЕСТВ

Л. В. Аникиева, Е. П. Иешко

Учреждение Российской академии наук Институт биологии Карельского научного центра РАН,  
г. Петрозаводск, Россия  
e-mail: Anikieva@krc.karelia.ru

Изучение реакции водных сообществ, связанной с интродукцией чужеродных видов, является одной из приоритетных задач современных экологических исследований. Вселение новых для водоема видов приводит к существенным изменениям в структуре рыбного населения и перестройке трофических цепей (Решетников и др., 1982; Стерлигова и др., 2002; Стерлигова, 2004; Криксунов и др., 2005). Серьезные экологические риски связаны с паразитологическими проблемами. Расселение рыб за пределами естественного ареала может сопровождаться заносом неспецифичных паразитов, которые становятся причиной эпизоотий аборигенных видов, как это отмечалось при распространении моногенеи *Gyrodactylus salaris* в реках Беломорского и Баренцевоморского бассейнов (Шульман и др., 2001). Оценка последствий влияния аборигенной паразитофауны на зараженность новых видов хозяев изучена слабо (Лутта, 1941; Румянцев, 1975; Евсеева и др., 1999). Практически нет данных о том, как и какими темпами происходит становление видового состава паразитов и зараженности паразитами рыб – интродуцентов. Данный аспект имеет не только практическое, но и большое теоретическое значение для понимания микроэволюционных аспектов видообразования и становления паразито-хозяинных отношений.

Нами предпринята попытка оценить характер морфофизиологических адаптаций цестоды *Proteocephalus longicollis* – аборигенного вида паразита сиговых рыб в Сямозере при освоении нового для водоема вида хозяина – спонтанно вселившейся европейской корюшки *Osmerus eperlanus* L.

## Материал исследования

Материалом для изучения морфологической изменчивости *P. longicollis* послужили тотальные препараты половозрелых цестод из корюшки (n = 56), ряпушки (n = 40) и сига (n = 33) оз. Сямозера, собранные в 1969 и 1985 – 1987 гг.

Анализировались 10 морфометрических признаков, принадлежащих к основным функциональным системам цестод: прикрепления (ширина сколекса, диаметр боковых присосок, диаметр апикальной присоски) и трофико-репродукции (длина и ширина половозрелых члеников, длина бурсы цирруса, яичника и стробилы, число семенников и отношение длины бурсы к ширине членика). Статистическая обработка выполнена стандартными методами (Лакин, 1990).

## Результаты исследования

Единичные экземпляры корюшки в оз. Сямозере отмечались в промысловых уловах, начиная с 1969 г., а к 1975 г. ее уловы возросли до 20 т. Рост численности корюшки сопровождался увеличением доли младших возрастных групп, в структуре стада преобладали двух – трехлетки, рыбы старше 5 лет встречались единично (Иешко и др., 2000). Пик численности корюшки приурочен к восьмидесятым годам. С этого периода, корюшка стала доминирующим видом в озере и конкурентом сига и ряпушки в питании планктоном. Активное питание планктоном привело к тому, что она включилась в жизненный цикл цестоды *P. longicollis*. Начиная с 1985 г. встречаемость цестод стала носить массовый характер (Евсеева и др., 1999). Таким образом примерно 20 лет потребовалось паразиту, адаптированному к обитанию в сиговых рыбах оз. Сямозера, для освоения нового для водоема вида хозяина – корюшки.

Сопоставление морфометрических показателей *P. longicollis* из корюшки, ряпушки и сига показало, что каждая из изучаемых выборок характеризовалась специфичными параметрами: пределами значений отдельных признаков, модальными классами и уровнем варьирования (таблица). Однако, несмотря на достоверные различия в средних величинах большинства признаков, границы изменчивости у сравниваемых выборок заметно перекрывались. Наиболее четко выборки различались признаками прикрепления. По трофико-репродуктивным признакам выборки были более сходны. По критерию Фишера выборка цестод из корюшки достоверно отличалась от таковой из ряпушки

более высокой изменчивостью всех признаков прикрепления. По признакам стробилы характер изменчивости не совпадал: число семенников было более изменчиво, а длина стробилы и отношение длины бursы цирруса к ширине членика – наоборот, менее изменчивы. Выборка цестод из корюшки по сравнению с выборкой цестод из сига отличалась большей изменчивостью ширины сколекса и меньшей – отношения длины бursы цирруса к ширине членика.

#### Морфометрические показатели признаков *P. longicollis* (мкм) из оз. Сямозера

Признаки	Ряпушка (1)	Сиг (2)	Корюшка (3)	t 1–3	t 2–3	F1–3	F2–3
Ширина сколекса	$\frac{119 \pm 5}{76-144}$	$\frac{233 \pm 13}{158-342}$	$\frac{357 \pm 18}{234-533}$	12,8*	5,6*	21,7*	2,2*
Диаметр боковых присосок	$\frac{47 \pm 3}{25-68}$	$\frac{86 \pm 4}{54-126}$	$\frac{132 \pm 4}{90-198}$	17*	8,1*	4,1*	1,6
Диаметр апикальной присоски	$\frac{23 \pm 1}{11-29}$	$\frac{49 \pm 3}{29-79}$	$\frac{77 \pm 2}{47-101}$	18,4*	7,8*	6,4*	1,1
Длина половозрелых члеников	$\frac{546 \pm 29}{317-1198}$	$\frac{574 \pm 30}{315-910}$	$\frac{619 \pm 30}{458-987}$	1,8	1,1	1,7	1,2
Ширина половозрелых члеников	$\frac{450 \pm 18}{260-690}$	$\frac{652 \pm 23}{462-875}$	$\frac{675 \pm 32}{458-1090}$	6,1*	13,4*	1,8	1,7
Число семенников	$\frac{31 \pm 1}{19-46}$	$\frac{52 \pm 3}{26-88}$	$\frac{47 \pm 2}{30-71}$	7,3*	1,6	3,4*	1,8
Длина бursы цирруса	$\frac{202 \pm 7}{112-294}$	$\frac{263 \pm 9}{210-420}$	$\frac{231 \pm 17}{141-387}$	1,6	1,6	1,2	1,2
Длина яичника	$\frac{328 \pm 15}{161-539}$	$\frac{462 \pm 16}{350-630}$	$\frac{507 \pm 25}{317-775}$	6,2*	1,5	1,3	1,9
Длина стробилы, см	$\frac{1,4 \pm 0,2}{0,7-2,5}$	$\frac{2,7 \pm 0,2}{0,9-5,0}$	$\frac{1,3 \pm 0,01}{0,7-2,3}$	0,5	6,6*	2,8*	1,0
Отношение длины бursы цирруса к ширине членика	$\frac{0,46 \pm 0,01}{0,35-0,63}$	$\frac{0,4 \pm 0,01}{0,3-0,6}$	$\frac{0,34 \pm 0,01}{0,26-0,42}$	3*	1,5	2,1*	2,0

\* – различия достоверны

Коэффициент сходства средних значений признаков цестод по Сьеренсену – Чекановскому между выборками корюшка – ряпушка и корюшка – сиг оказался высоким (0,8 и 0,93 соответственно). По дисперсии высокое сходство установлено для пары корюшка – сиг. Коэффициент сходства по Сьеренсену – Чекановскому равен 0,78, для пары корюшка – ряпушка – 0,14.

#### Обсуждение результатов

Популяционная структура *P. longicollis* до вселения в водоем корюшки включала две гостальные формы: сиговую и ряпушковую. Они представлены разными фенотипами, различающимися пределами и средними значениями признаков, а также характером их варьирования. Типичный фенотип *P. longicollis* из ряпушки – мелкие по размерам цестоды, из сига – крупные цестоды. Полученные нами данные согласуются с материалами В.И. Фрезе и Б.Е. Казакова (1968) об особенностях морфологии *P. longicollis* из сига и ряпушки водоемов Кольского полуострова.

Пространственное распределение гостальных группировок *P. longicollis* в оз. Сямозере обеспечивали различия в биологии хозяев и их предпочтение к разным местам обитания. Сямозерский многотычинковый сиг – типичный представитель сигов с большим числом тычинок (42–53) и преимущественно планктонным питанием. Места обитания сига в Сямозере в период открытой воды приурочены к песчано-илистым участкам литоральной зоны, где он нагуливается в летний период. Осенью половозрелые особи отходят на нерестилища, расположенные недалеко от мест нагула. Зимой сига уходят на более глубокие места вслед за миграцией кормовых объектов. Ряпушка – специализированный планктофаг, в летний период обитает в пелагиали озера, нерестится на песчаных, песчано-каменистых и песчано-илистых грунтах у входа в губы, вдоль островов и берегов, частично и в центральном плесе (Решетников и др., 1982).

До 1985 г. корюшка, в связи с малочисленностью и доминированием сиговых рыб в оз. Сямозере, не играла существенной роли в поддержании численности паразита. Предполагается, что икра корюшки могла быть занесена на промысловых орудиях из Онежского озера. Возможно также, что личинки ла-

дожской корюшки проникли в Сямозеро при проведении рыбоводных работ в Иматозере, имевшем сток в Сямозеро. Быстрый рост численности корюшки в Сямозере связан с «эффектом акклиматизации», когда численность нового вида в водоеме резко увеличивается после вселения. Росту численности корюшки способствовали также хорошие условия откорма (биомасса зоопланктона более 2.0 г/м<sup>3</sup>) и благоприятные условия для размножения. Обнаружено большое сходство в питании трехлетней корюшки и ряпушки: индекс пищевого сходства 23–37 % (Решетников и др., 1982). В сложившихся условиях рост численности корюшки обусловил сокращение численности ряпушки и молоди сига. Учетные уловы сиговых в 1985–1987 гг. составляли около 2% от общего улова. Доля корюшки в эти годы превышала 35% (Стерлигова и др., 2002). Сочетание высокой численности корюшки с более высокой ее зараженностью *P. longicollis* по сравнению с ряпушкой и сигом (Аникиева и др., 2007) привело к тому, что она стала играть основную роль в жизненном цикле *P. longicollis*.

Наличие конкуренции в питании между корюшкой и сиговыми рыбами доказывает изменение в их зараженности цестодой, цикл развития которой связан с зоопланктоном. В первые годы после вселения корюшка была свободна от *P. longicollis* (Иешко, Малахова, 1982). Впервые паразит обнаружен у корюшки в 1981 г. Зараженность корюшки была низкой: экстенсивность заражения – 4 %, индекс обилия – 0.8 экз.; личинки и неполовозрелые особи составляли основу численности. Позднее (в 1987 г.) зараженность корюшки *P. longicollis* увеличилась до 80 %, индекс обилия – до 20 экз.; 40 % цестод в июне были половозрелыми. Тем самым доказывается ведущая роль вселенца в поддержании численности паразита.

Сравнительный анализ морфологии *P. longicollis* из разных видов хозяев – сига, ряпушки и корюшки показал, что морфологический полиморфизм цестод из корюшки сочетает признаки экоформ, приуроченных к местным видам хозяев – сигу и ряпушке. По длине стробилы цестоды из корюшки ближе к ряпушковому фенотипу. По размерам трофико-репродуктивных органов – к сиговому. По характеру изменчивости они ближе к сиговой экоформе. В то же время фенотип цестоды из корюшки отличается от аборигенных фенотипов сочетанием более крупных размеров органов прикрепления с короткой стробилой и широкими члениками. Выявленные особенности позволяют считать, что гостальная группировка *P. longicollis* из нового для водоема хозяина – корюшки характеризуется новыми свойствами, поскольку изменение отдельных признаков указывает на изменение состояния всего организма.

Нами установлено, что все три гостальные экоформы *P. longicollis* более сходны по признакам, характеризующим репродуктивную систему, чем по признакам прикрепления. Полученные данные позволяют представить формирование гостальной экоформы *P. longicollis* из спонтанно вселившейся в озеро корюшки как процесс находящийся под действием балансирующего отбора. Известно, что балансирующий отбор ответственен за формирование и поддержание генетического полиморфизма естественных популяций. Отбор касается признаков не связанных с размножением и не приводит к подразделению исходной популяции на 2 или более дочерних. Балансирующий отбор создает полиморфизм и поддерживает приспособленность популяции за счет пластичных признаков фенотипа, обладающих более или менее широкой нормой реакции (Северцов, 1990).

Таким образом, полученные нами результаты свидетельствуют о том, что появление в водоеме нового хозяина и освоение его паразитом сопровождается формированием нового фенотипа со специфичным набором признаков. Увеличение числа внутривидовых группировок повышает разнообразие популяции, способствует поддержанию численности и сохранению паразита в изменяющихся условиях пресноводных экосистем.

#### Литература

- Аникиева Л.В., Иешко Е.П., Стерлигова О.П. 2007. Сукцессионные особенности динамики численности и структуры популяции цестоды *Proteocephalus longicollis* (Zeder, 1800) (Cestoda: Proteocephalidae) // Паразитология. Т. 41, вып. 6. С. 526–532.
- Евсеева Н.В., Иешко Е.П., Шульман Б.С. 1999. Роль акклиматизации в формировании паразитофауны европейской корюшки *Osmerus eperlanus* (L.) в условиях Сямозера (Карелия) // Паразитология. Т. 33, вып. 5. С. 404–409.
- Иешко Е.П., Малахова Р.П. 1982. Паразитологическая характеристика зараженности рыб как показатель экологических изменений в водоеме // Изменение структуры рыбного населения эвтрофируемого водоема. М.: Наука. С. 161–175.



- Иешко Е.П., Евсеева Н.В., Стерлигова О.П. 2000. Роль паразитов рыб в пресноводных экосистемах на примере паразитов корюшки (*Osmerus eperlanus*). Паразитология. Т. 34, вып. 2. С. 118–124.
- Криксунов Е.А., Бобырев А.Е., Бурменский В.А., Павлов В.Н., Ильмаст Н.В., Стерлигова О.П. 2005. Балансовая модель биотического сообщества Сямозера. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН. 54 с.
- Лакин Г.Ф. 1990. Биометрия. М.: Высш. Шк. 352 с.
- Лутта А.С. 1941. О заражении аральского шипа (*Acipenser nudiiventris*) жаберным сосальщиком *Nitzschia sturionis*. Тр. Ленингр. общ. естествоисп. Т. 18, вып. 4. С. 40–60.
- Мамаев С.А. 1972. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений. М.: Наука. 283 с.
- Решетников Ю.С., Попова О.А., Стерлигова О.П. 1982. Изменение структуры рыбного населения эвтрофируемого водоема. М. 234 с.
- Румянцев Е.А. 1975. Влияние некоторых факторов на паразитофауну рыб при интродукции в озера Карелии. Паразитология. Т. 9, вып. 4. С. 305–311.
- Северцов А.С. 1990. Направленность эволюции. М.: Изд-во МГУ. 272 с.
- Стерлигова О.П. 2004. Последствия случайного проникновения корюшки в экосистему Сямозера // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения. Апатиты. С. 49–51.
- Стерлигова О.П., Павлов В.Н., Ильмаст Н.В., Павловский С.А., Комулайнен С.Ф., Кучко Я.А. 2002. Экосистема Сямозера (биологический режим, использование). Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН. 119 с.
- Шульман Б.С., Щуров И.Л., Иешко Е.П., Широков В.А. 2001. Влияние *Gyrodactylus salaris* Malmberg, 1957 (*Monogenea: Gyrodactylidae*) на популяцию атлантического лосося (*Salmo salar* L.) в р. Кереть (Северная Карелия) и возможные меры борьбы с ним // Эколого-паразитологические исследования животных и растений Европейского Севера. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН. 40–48.
- Фреze В.И., Казаков Б.Е. 1968. Новый вид цестоды из рода *Proteocephalus* (*Cestoidea: Proteocephalata*) от ряпушки (*Coregonus albula* L.) Европейского Севера СССР // Тр. ГЕЛАН СССР. Т. 20. С. 171–175.

# **MORPHOLOGICAL VARIABILITY OF *PROTEOCEPHALUS LONGICOLLIS* (ZEDER, 1800) (PROTEOCEPHALIDAE), A PARASITE OF COREGONIDS IN CONDITIONS OF TRANSFORMATION OF WATER COMMUNITIES**

**L.V. Anikieva, E.P. Ieshko**

Institute of Biology, Karelian Research Center of RAS, Petrozavodsk, Russia  
e-mail: Anikieva@krc.karelia.ru

There has been studied morphological variability to coregonids cestode *Proteocephalus longicollis*, a parasite of smelt *Osmerus eperlanus* L., which was spontaneously introduced into Lake Syamozero. It was ascertained that for last 20 years *P. longicollis* has become a mass representative of established parasitic fauna of smelt, thereby showing the absence of its strict specificity. It was shown that morphological polymorphism of *P. longicollis* from smelt combines features of ecoforms characteristic for local hosts, those are whitefish (*Coregonus lavaretus* L.) and vendace (*Coregonus albula* L.). By the nature of variability cestodes from smelt are more similar to ecoforms from whitefish. It is concluded that when a parasite colonise a host that is new for the water body, a new hostal group is forming, which makes for the parasite number maintenance and its population stability under changing environment of freshwater ecosystems.

## **ЭФФЕКТ МАССЫ И ТЕМПЕРАТУРЫ НА СКОРОСТЬ ОБМЕНА У НЕКОТОРЫХ ЛИТОРАЛЬНЫХ АМФИПОД**

**Е.С. Аракелова**

Учреждение Российской академии наук Зоологический институт РАН,  
г. Санкт-Петербург, Россия  
e-mail: gambar@EA3784.spb.edu

Данные по энергетическому обмену амфипод многочисленны в целом, но отдельные виды по-прежнему остаются в поле зрения исследователей, особенно когда речь идет о литоральных животных, наиболее подверженных воздействию температуры среды. Для выражения связи между обменом животных и температурой было предложено использовать экспоненциальное уравнение Аррениуса  $V_t = V_0 e^{-\mu/RT}$ , где  $T$  – абсолютная температура по шкале Кельвина,  $\mu$  – средняя энергия ак-

тивации в пределах ( $t_1 - t_2$ ) в калориях или джоулях (Ивлева, 1981). Позднее была предложена модель, позволяющая сравнивать метаболизм разных видов независимо от массы животных и температуры  $B = B_0(T_0)M^{3/4}e^{E_i T_c / k T T_0}$  (Gillooly et al., 2001). Причем независимость от факторов достигается сравнением интенсивностей обмена  $B_0$  при нормированной стандартной температуре  $T_c$ , наиболее часто равной  $20^\circ\text{C}$ . В основе модели – уравнение зависимости скорости обмена от массы и температуры  $B \sim M^{3/4} e^{-E_i / kT}$ , где  $E_i$  – энергия активации молекул,  $k$  – постоянная Больцмана. Модель позволяет связывать метаболизм с кинетикой физиологического процесса. По количественно выраженным для отдельных таксонов зависимостям интенсивности метаболизма от разных температур по шкале Кельвина становится возможным определить ускоряющее влияние температуры на данный физиологический процесс с использованием универсальной температурной зависимости (universal temperature dependence)  $UTD \rightarrow e^{E_i T_c / k T T_0}$ , где  $T_c = T - T_0$ . Для 10-градусного интервала температур зависимость можно выразить как  $Q_{10} = e^{10E_i / k T T_0}$ . Эта форма количественной связи между скоростью энергетического обмена животных и температурой отличается от уравнения Вант-Гоффа  $V_2/V_1 = Q_{10}^{(t_2-t_1)/10}$ . Согласно последнему уравнению коэффициент  $Q_{10}$  не зависит от температуры, чем отличается от коэффициента по UTD, и имеет постоянное значение, близкое к 2–2.5.

Цель данной работы заключалась в определении скорости энергетического обмена у некоторых видов амфипод при естественной температуре среды, определении энергии активации метаболизма у них и сравнении температурных коэффициентов  $Q_{10}$ , полученных для них по уравнениям Вант-Гоффа и универсальной температурной зависимости.

Эксперименты по водному дыханию амфипод литоральной зоны Белого моря *Gammarus duebeni* и пресноводных *Monoporeia affinis* и *Gammarus lacustris* из оз. Кривое (мыс Картеш, Карелия) проводились на территории Беломорской биологической станции ЗИН РАН. Скорость потребления кислорода (СПК) измерялась стандартным методом в замкнутых сосудах, содержащихся во время опыта в воде на литорали. Содержание кислорода в воде определялось методом Винклера.

Опытные данные по дыханию амфипод аппроксимированы степенным уравнением  $B = BWb$ , где  $B$  – СПК,  $\text{мм}^3 \text{ч}^{-1}$ ,  $W$  – сырая масса амфипод, мг (Табл. 1).

Все данные в пределах  $8-18^\circ\text{C}$ , независимо от температуры измерения, объединены общим трендом, который формально отражает связь между СПК и массой при усредненной температуре  $\sim 15 \pm 7^\circ\text{C}$ , ниже и выше которой лежат данные, относящиеся, соответственно, к более низким и более высоким температурам (Рис. 1).

Регрессия физиологического процесса с возрастанием массы имеет аллометрический характер, а межвидовые различия коэффициентов  $b$  (0.57–0.81) в значительной степени можно объяснить неоднородностью данных по отношению, прежде всего, к температуре, принадлежностью вида к морской или пресноводной фауне и диапазоном масс подопытных рачков.

Таблица 1

Параметры уравнений зависимости скорости энергетического обмена ( $B$ ) от массы у некоторых амфипод

Вид	$t^\circ\text{C}$	$n$	$B_0$	$b$	$r^2$	$W$ ср. (min-max)
<i>Monoporeia affinis</i>	8	26	0.6	0.59	0.85	4.82 (0.4 – 10.7)
«	17 23	1.1	0.81	0.39	4.74 (2.5 – 6.0)	
<i>G. lacustris</i>	18	24	1.3	0.57	0.88	11.2 (1.2 – 37.4)
<i>G. duebeni</i>	10	14	0.8	0.72	0.91	28.1 (2.3 – 55.6)
«	15 16	1.6	0.66	0.62	26.3 (5.8 – 65.4)	

Влияние температуры на энергетический обмен у разных видов амфипод (Табл. 2) показано на графике зависимости интенсивности обмена от температуры по шкале Цельсия (Рис. 2) и от обратной величины абсолютной температуры ( $1/T^\circ\text{K}$ ) в полулогарифмической системе координат (Рис. 3). Данные аппроксимированы, соответственно, экспоненциальным уравнением  $B = 0.6684e^{0.0806t}$  ( $n = 23$ ,  $r^2 = 0.78$ ) и линейным  $\ln B = -6.6962(103/T) + 9.125$  ( $n = 23$ ,  $r^2 = 0.79$ ,  $P = 0.01$ ). Вопреки принятому способу стандартизации скорости обмена, которая достигается делением скорости процесса на массу в степени 0.75, представленные здесь коэффициенты регрессии  $b$  в уравне-

ниях по обмену, в том числе и по литературным данным, не приведены к  $\frac{3}{4}$  и сохраняют начальное значение.

Таблица 2. Интенсивность обмена пресноводных и морских амфипод при разной температуре

Вид	$t$ °C мг сух. мм <sup>3</sup> мг <sup>-1</sup> ч <sup>-1</sup>	W,	B <sub>0</sub> ,	Источник
<i>Gammaracanthus lacustris</i>	5	0.94 – 180.6	0.695	Иванова, 1972
«	11	0.94 – 176.9	1.514	«
<i>Gammarus olivii</i>	5	-	1.224	Аболмасова, 1975
10	-	1.388	«	«
<i>Gammarellus carinatus</i>	6	1.3 – 16.0	1.824	Ивлева, 1981
10	0.8 – 23.0	2.368	«	«
<i>Hyperia, Sinopia</i>	20	0.13 – 10.6	2.593	«
Amphipoda	25	0.05 – 29.7	3.17	«
«	29	0.037 – 4.1	5.525	«
«	23.5	0.6 – 22.5	5.07	Мусаева, Витек, 1975
«	1.9	0.4 – 269.5	0.365	Гигиняк (цит. по: Ивлева, 1981)
<i>Macronectopus branickii</i>	0.5	1.79	0.58	Галазий, 1980
«	4	2.41	0.86	«
«	7	2.97	0.99	«
«	10	1.8	1.17	«
<i>Themisto libellula</i>	8	13.5	1.30	Pearcy, 1993
«	10	13.5	1.50	«
<i>Gammarus sp.</i>	23	2.25 – 29.5	4.14	данные автора

По экспоненциальному уравнению легко рассчитать, применив уравнение Вант-Гоффа, температурный коэффициент  $Q_{10}$ , который имеет постоянное значение 2.24 в 10-градусных интервалах в пределах 5–30 °C. При расчете  $Q_{10}$  по ф-ле Аррениуса вводятся физические величины, такие как постоянная Больцмана  $k$ , и рассчитывается энергия активации атомов  $eV$ . Необходимо также скорость физиологического процесса выразить в энергетических единицах, в данном случае в единицах мощности ватт. Коэффициент  $b$  в линейном уравнении, характеризующий степень влияния фактора на процесс, и показывающий наклон линии в полулогарифмической системе координат, умноженный на постоянную Больцмана, дает величину энергии активации, которая у амфипод оказалась равной 0.58 eV. Эта величина сравнима со средним значением 0.6, определенным для беспозвоночных животных (Gillooly et al., 2001). По формуле расчета  $Q_{10}$  с учетом универсальной температурной зависимости  $e^{10E_i/kT_1T_2}$  были рассчитаны коэффициенты для 10-градусных интервалов температур, которые снижались с повышением температуры в интервале 5 – 30 °C от 2.31 до 2.13 (Рис. 4).

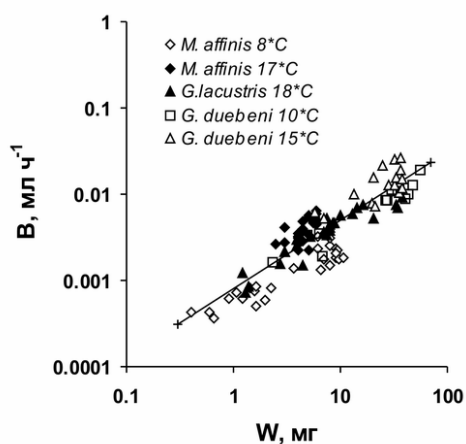


Рис. 1. Связь между скоростью обмена при разной температуре среды и массой амфипод

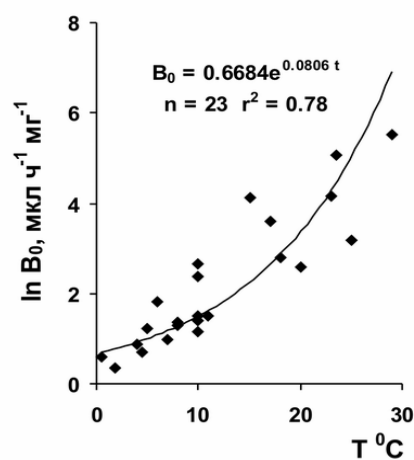


Рис. 2. Экспоненциальная зависимость интенсивности обмена у разных видов амфипод от температуры

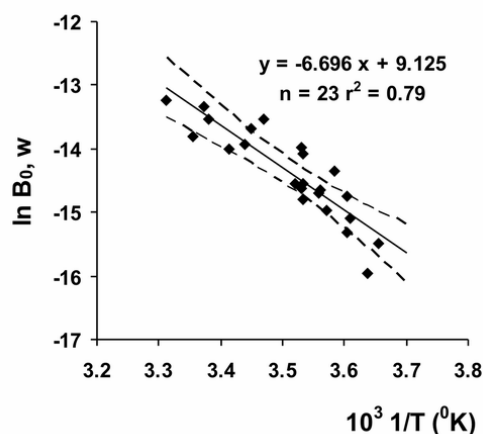


Рис. 3. Связь между интенсивностью обмена у разных видов амфипод и обратной величиной абсолютной температуры (масштаб полулогарифмический).

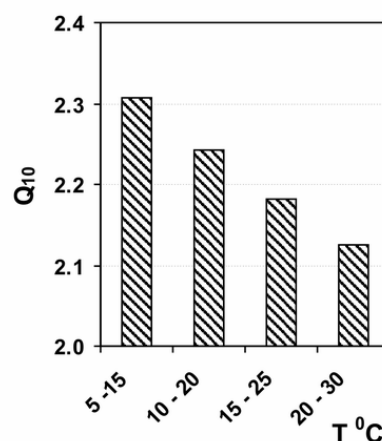


Рис. 4. Изменение значений  $Q_{10}$ , рассчитанных с учетом универсальной температурной зависимости, при повышении температуры.

Значения энергии активации  $\mu$ , определенные для Crustacea, Mollusca (Ивлева, 1981) и для 8 видов, относящихся к Gastropoda (Аракелова, 1989), равны, соответственно,  $14988 \pm 0.119$ ,  $12233 \pm 0.742$  и  $9668 \pm 0.699$  кал моль<sup>-1</sup>, что при расчете скорости метаболизма в ваттах составляет 0.65, 0.53 и 0.42 eV. Все эти значения попадают в диапазон значений энергий активации  $E_i$ , определенный для живых организмов в целом и для беспозвоночных в частности и могут быть использованы в модели, позволяющей сравнивать метаболизм разных видов независимо от массы животных и температуры.

Ранее отмечалось что «для биологических явлений правило Вант-Гоффа оказывается не всегда справедливо, и величина  $Q_{10}$  закономерно изменяется с температурой, т.к. одна и та же температура различно воздействует на разные органы или организмы», однако, этот коэффициент представляет собой удобную форму сравнения скоростей протекания биологических процессов (Алимов, 1981). Действительно, средняя величина значений  $Q_{10} = 2.21 \pm 0.06$  мало отличается от рассчитанной по уравнению Вант-Гоффа постоянной величины  $Q_{10} = 2.24$ . Следовательно, в пределах оптимальных и толерантных температур, во избежание сложных расчетов с использованием физических констант с чрезвычайно малыми и большими численными значениями, можно продолжать пользоваться уравнением Вант-Гоффа, не забывая об ошибке до 15 % (Gillooly et al., 2001), которая может отличать расчетный результат от истинного значения.

Работа проведена на территории Беломорской биологической станции ЗИН РАН и поддержана грантами РФФИ НШ-1993.2008.4, «Биоразнообразие» и «Биоресурсы».

### Литература

- Аболмасова Г.И., 1975. Траты энергии на дыхание и репродукцию яиц у *Gammarus olivii* из Черного моря // Биология моря. Вып. 33. Киев. Наукова думка. С. 68 – 73.
- Алимов А.Ф., 1981. Функциональная экология пресноводных двустворчатых моллюсков. Л.: Наука. 248 с.
- Аракелова Е.С. Влияние температуры на скорость потребления кислорода гастроподами // Исследования водных экосистем. Тр. ЗИН АН СССР, Ленинград. Т. 205. С.140 – 146.
- Галазий С.Г., 1980. Интенсивность дыхания байкальской пелагической амфиподы *Macronectopus branickii* (Dyb.) // Гидробиол. ж. Т.16, № 5. С. 83 – 86.
- Ивлева И.В. 1981. Температура среды и скорость энергетического обмена у водных животных. Киев. Наукова думка. 232 с.
- Мусаева Э.И., Витек З., 1975. Дыхание планктонных животных экваториальной части Тихого океана // Тр. Ин-та океанологии АН СССР. Т. 102. С. 358 – 364.
- Gillooly J. F., Brown J.H., West G. B., Savage V. M., Charnov E. L., 2001. Effects of size and temperature on metabolic rate // Science. V. 293. P. 2248 – 2251.
- Ivanova M.B., 1972. The influence of temperature on the oxygen consumption by *Gammaracanthus lacustris* Sars (Amphipoda) // Pol. arch. hydrobiol. V. 19. No.3. P. 319 – 324.
- Percy J.A., 1993. Energy consumption and metabolism during starvation in the Arctic hyperiid amphipod *Themisto libellula* Mandt. // Polar Biology. V. 13. P. 549 – 555.

## EFFECTS OF SIZE AND TEMPERATURE ON METABOLIC RATE IN SOME AMPHIPODS

E. Arakelova

Zoological Institute of RAS, St. Petersburg, Russia  
e-mail: gambar@EA3784.spb.edu

The goal of this work was to define a combined effect of mass and temperature on the metabolic rate of amphipods within the natural range of temperature. Oxygen consumption rates of some marine and freshwater amphipods were measured at different natural temperatures ranging from 8 to 18 °C. The power of regression in the equations varies within 0.57 – 0.81. The mass-normalized respiration rate (ln Bo), as a function of inverse quantity of Kelvin temperature, was expressed as the linear equation  $\ln Bo = 9.125 - 6696.2 / T$  ( $n = 23$ ,  $r^2 = 0.78$ ). Contrary to the accepted way of standardization of the rate of exchange which is achieved by division of rate on  $W^{0.75}$ , the regression coefficients in the equations were not led to the quarter-power, but represented the initial value. Temperature increases the metabolic rate, and the activation energy obtained from plot is 0.58 eV coincides with the mean value 0.6 eV defined for multicellular invertebrates (Gillooly et al., 2001). The energy activation for Crustacea in whole was defined earlier as  $\mu = 14988 \text{ cal mol}^{-1}$  per degree (Ivleva, 1981) (or 0.65 eV). Taking into account

$UTD \rightarrow e^{E_i T_c / KTT_0}$  and  $Q_{10} = e^{10E_i / KTT_0}$ , it was determined that the temperature coefficients decrease in interval 5 – 30 °C from 2.3 to 2.1. Despite the low number of taxa used at calculation this equation can be used for comparison of metabolic rates of the amphipod species independently of mass and temperature.

## ТРОФИЧЕСКИЕ НИШИ СИНТОПИЧЕСКИ ОБИТАЮЩИХ ВИДОВ ПЕСКАРЕЙ (*GOBIO GOBIO* И *ROMANOGOBIO ALBIPINNATUS*)

О.Н. Артаев, А.Б. Ручин

Мордовский государственный университет, г. Саранск, Россия  
e-mail: artaev@gmail.com

Результаты фаунистических исследований постоянно обновляются и дополняются, например, недавно белоперый пескарь *Romanogobio albipinnatus* был обнаружен в некоторых реках Мордовии, Воронежской, Ульяновской, Нижегородской и других областей. В связи с этим представляется интересным изучение экологии данного вида, который обитает совместно (симпатрично и синтопично) с хорошо известным и широко распространенным близким видом – обыкновенным пескарем *Gobio gobio*.

Материал был собран мальковой волокушей (длина 6 м с ячейей 6 мм) и бреднем (длина 10 м с ячейей 8 мм, в мотне – 6 мм). Пойманные особи сразу фиксировались в 4%-ном растворе формалина. Трофические ниши пескарей анализировались из следующих местообитаний, расположенных в правобережье средней Волги: р. Сура – Мордовия (Большеберезниковский район, биостанция МГУ); р. Мокша – Мордовия (Ковылкинский район, д. Слободиновка). р. Клязьма – Владимирская обл. (Собинский район, д. Вал). Дальнейшая обработка проходила в лабораторных условиях. Рыбу взвешивали на электронных весах с точностью взвешивания 0,001 г, с помощью штангенциркуля измеряли стандартную длину (SL). Возраст определяли по чешуе с использованием бинокуляра, пол определяли по гонадам. При вскрытии извлекали желудочно-кишечный тракт. Определяли степень наполнения каждого отдела кишечника (передний, средний, задний) по пятибалльной шкале (Зиновьев, 2003). Содержимое всего ЖКТ взвешивали на весах, затем под бинокуляром определяли качественный состав потребленных организмов. Т.к. пища у пескарей довольно сильно повреждена (что объясняется наличием глоточных зубов), содержащиеся в пище экземпляры определялись с точностью до отряда, а в отряде Diptera до семейства. Обычно выборка с одного места обитания составляла более 70 экз. (в сумме обработано 222 экз.).

При изучении перекрывания трофических спектров использовали индекс Мориситы:

$$C\lambda = \frac{2 \sum (p_{ih} p_{jh})}{\sum p_{ih}^2 + \sum p_{jh}^2},$$

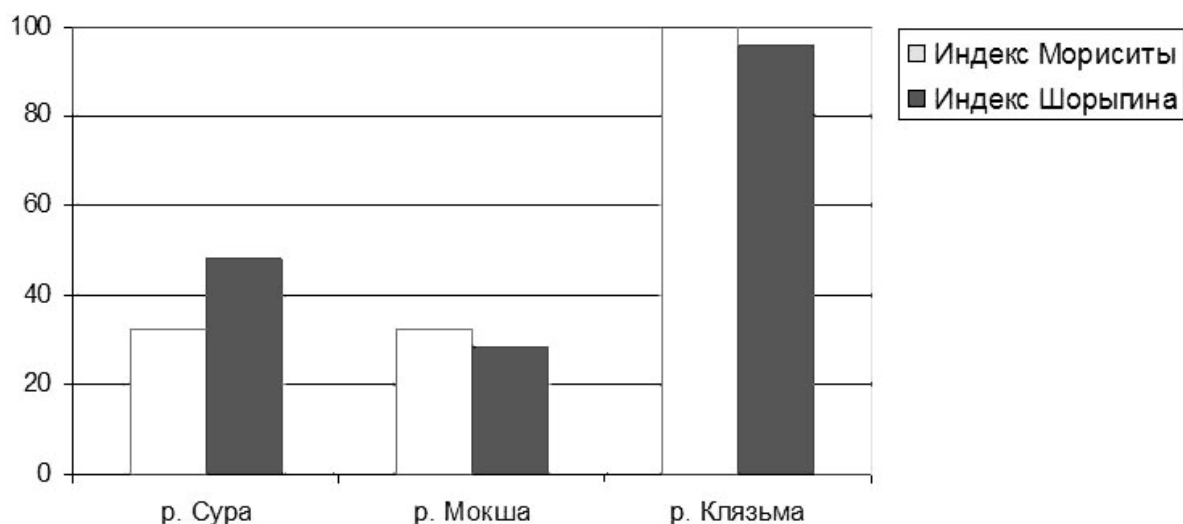
где  $P_{ih}$  и  $P_{jh}$  – вероятности использования ресурса  $h$  видами  $i$  и  $j$ , соответственно. Также применяли индекс Шорыгина (сумма минимальных процентов содержания пищевых объектов у исследуемых видов). Временную активность анализировали по степени наполненности кишечника, а также по индексу наполнения кишечника ( $m$  пищи /  $m$  тела) \* 10000 ( $I_n$ ).

Спектры питания пескарей в разных реках отличались, но в целом абсолютно преобладали у обоих видов личинки хирономид Chironomidae (табл. 1). На втором месте у обыкновенного пескаря с большим отрывом находились личинки ручейников (Trichoptera), у белоперого с небольшим отрывом – личинки коретры (Chaoboridae). Небольшую долю помимо упомянутых занимали имаго двукрылых (Diptera) – возможно, основную их массу составляли только что вылетевшие хирономиды.

При изучении индексов перекрывания трофических ниш (рис.) оказалось, что в Суре они немногим больше чем в Мокше, но в целом меньше 50%. Такой невысокий показатель объясняется преобладанием у обыкновенного и белоперого пескарей разных пищевых объектов. У первого доминировали личинки Chironomidae, у второго – личинки Chaoboridae. В Клязьме индексы перекрывания приближались к 100%. Это обуславливается наличием у обоих видов одного пищевого объекта – личинок Chironomidae. У обыкновенного пескаря в пище они составляли 90%, у белоперого – 91,6%. Небольшие различия заключались в том, что у обыкновенного пескаря второе место по численности занимали имаго Diptera (6,1%), у белоперого – личинки Chaoboridae (4,8%).

#### Обобщенные спектры питания двух видов пескарей

Таксон	Обыкновенный пескарь		Белоперый пескарь	
	Абсолютное кол-во, экз.	Относительное кол-во, %	Абсолютное кол-во, экз.	Относительное кол-во, %
NEMATHELMINTHES				
Nematoda	1	0,03	1	0,05
Rotifera	–		3	0,15
ANNELIDA				
Oligochaeta	1	0,03	1	0,05
Hirudinea	2	0,06	–	–
MOLLUSCA				
Gastropoda	–	–	1	0,05
ARTHROPODA				
CRUSTACEA				
Cladocera	2	0,06	7	0,35
Isopoda	5	0,15	5	0,25
ARACHNIDAE				
Acariformes	1	0,03	–	–
INSECTA				
Ephemeroptera, larvae	38	1,12	31	1,55
Plecoptera, larvae	5	0,15	5	0,25
Odonata, larvae	7	0,21	5	0,25
Heteroptera	4	0,12	8	0,40
Coleoptera, imago	5	0,15	2	0,10
Coleoptera, larvae	7	0,21	3	0,15
Lepidoptera, larvae	2	0,06	–	–
Trichoptera, larvae	110	3,23	84	4,20
Diptera, неопред., imago	117	3,44	95	4,75
Chironomidae, pupae	2999	88,35	985	49,25
Chaoboridae, larvae	70	2,06	740	37,00
Ceratopongidae, larvae	6	0,18	12	0,60
Simuliidae, larvae	2	0,06	1	0,05
Rhagionidae, larvae	8	0,24	11	0,55
Tabanidae, larvae	2	0,06	–	–
<b>Всего</b>	<b>3394</b>	<b>100</b>	<b>2000</b>	<b>100</b>



Индексы перекрытия трофических ниш пескарей в некоторых реках.

Помимо прочего, мы изучали изменение индексов перекрытия трофических спектров по времени суток. Оказалось, что утром индекс Мориситы равен 88,1%, индекс Шорыгина 58,17%. В обеденное время первый индекс составлял 28,27%, второй – 27,18%. В обеденное время индекс Мориситы – 94,45%, индекс Шорыгина – 82,39%. Вечером индекс Мориситы – 94,45%, индекс Шорыгина – 82,39%. Т.к. в 2006 г. не было поймано не одного обыкновенного пескаря, индексы вычисляли по ночной выборке 2005 г. с той же точки. Индекс Мориситы составлял 52,84%, информационная мера сходства 58,44%, индекс Шорыгина – 43,18%.

Таким образом, наибольшего значения индексы перекрытия трофических спектров достигали в вечерние и утренние часы, причем в вечерние часы наблюдалось большее перекрытие. Минимум перекрытия зафиксирован в обеденное время. Общее перекрытие трофических ниш по сумме всех выборок составляло по индексу Мориситы – 75,1%; по индексу Шорыгина – 59,6%. Таким образом, пищевая конкуренция у изучаемых видов обостряется в вечерние и утренние часы, в обеденное время и ночью она ослаблена, что может быть связано с перераспределением (миграцией) рыб в русле реки по микробиотопам.

#### Литература

Зиновьев В. А., Мандрица С. А., 2003. Методы исследования пресноводных рыб: Учебное пособие по спецкурсу / Пермь.: Пермский ун-т. 113 с.

### TROPHIC NICHE OF SYNTOPIC LIVING OF GUDGEONS

**O. Artaev, A. Ruchin**

Mordovian State University, Saransk, Russia  
e-mail: artaev@gmail.com

This article presents the food composition analysis of two gudgeons' species (*Gobio gobio* and *Romanogobio albipinnatus*). It also examines the overlap indexes of trophic niches (Shorygin and Morisita index) in general and by time of day. The overlap indexes of trophic niches obtained their maximum values in the evening and morning hours, moreover the higher overlap was observed in the evening hours. The minimum overlap was recorded in midday time. According to the datas of all samples the total overlap of trophic niches has made on Morisita index – 75,1%, on Shorygin index – 59,6%.



# ГЕНОФОНД АТЛАНТИЧЕСКОГО ЛОСОСЯ РУССКОГО СЕВЕРА: ИСТОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ, АДАПТИВНОЕ ЗНАЧЕНИЕ, ПУТИ СОХРАНЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ (ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ)

В.С. Артамонова, А.А. Махров

Учреждение Российской академии наук Институт проблем экологии и эволюции  
им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва  
e-mail: valar99@mail.ru

**Введение.** До середины XX века атлантический лосось (семга) – оставался одним из важнейших промысловых объектов на Русском Севере. Поморские поселения располагались на семужьих реках – это спасало жителей от голода даже в периоды появления у берегов вражеского флота или неудачи морских промыслов. В последние годы промысел семги упал, однако постоянно растет ее значение как объекта лицензионного лова и товарного рыбоводства.

**Пути заселения региона.** Уже в первых работах, посвященных генетическому разнообразию семги, был выявлен полиморфизм по гену *ESTD*\*, кодирующему фермент эстеразу Д. «Медленный» аллель этого гена распространен в популяциях Кольского полуострова, а в популяциях рек южной части бассейна Белого моря и Печоры его частота низка или он отсутствует полностью (Семенова, 1988; Семенова, Слынько, 1988а; Kazakov, Titov, 1991, 1993).

Последующие работы показали, что «медленный» аллель *ESTD*\* изредка встречается в популяциях северной Норвегии (Skaala et al., 1998) и близок к фиксации у атлантического лосося Северной Америки (Bourke et al., 1997; Махров и др., 1998а). В одной из популяций Кольского полуострова были обнаружены гаплотипы митохондриальной ДНК (мтДНК), характерные для североамериканских популяций (Verspoor et al., 1999; Nilsson et al., 2001).

В результате комплексных исследований полиморфизма *ESTD*\* и мтДНК показано, что популяции Кольского полуострова и прилегающих районов формировались при участии переселенцев из Северной Америки и западной Европы (Махров и др., 2001; Asplund et al., 2004; Makhrov et al., 2005). В популяциях севера Европы также найдены типичные для популяций Северной Америки аллели генов, кодирующих глюкозо-6-фосфат-изомеразу (Осинов, 1999) и гормон роста (Ruunanen, Primmer, 2004). Вселение из западной Европы подтверждено исследованием разнообразия микросателлитов (Tonteri, 2008).

Предполагается, что популяции рек южной части Белого моря и Печоры заселялись из бассейна Балтики: в этих популяциях, как и в Балтике, отсутствует «медленный» аллель *ESTD*\*, и присутствуют те же гаплотипы мтДНК, что и в этом бассейне (Семенова, 1988; Kazakov, Titov, 1991; Makhrov et al., 2005). Альтернативная гипотеза предполагает заселение данного региона из рефугиума в бассейне современной Печоры (Asplund et al., 2004; Tonteri et al., 2005; Tonteri, 2008). Однако, никаких вариантов генов, «эндемичных» для этого рефугиума, не известно (подробнее см.: Махров, Болотов, 2006).

**Межпопуляционные различия и популяционная структура.** Популяции семги побережий Белого и Баренцева морей имеют одинаковое модальное значение числа хромосом ( $2n=58$ ) и хромосомных плеч ( $NF=74$ ) (Баршене, 1978, 1981; Зелинский и др., 1980; Логинова, Краснопорова, 1981; Семенова, 1992). Однако, в жилой популяции лосося озер Куйто доминируют три варианта хромосомного набора – с  $2n=56$ ,  $2n=57$  и  $2n=58$  (Зелинский, 1976).

Более 40 лет назад иммунологическим методом выявлены различия между популяциями рек Умбы, Лувеньги и Колы (Штерман, 1967). Позже различия между популяциями региона обнаружены также по частотам аллелей генов, кодирующих белки (Семенова, 1988; Семенова, Слынько, 1988а; Kazakov, Titov, 1991, 1993; Казаков, Титов, 1992; Skaala et al., 1998; Шубин и др., 2000; Makhrov et al., 2005; Пономарева, 2007), аллелей микросателлитов (Wennevik et al., 2004; Tonteri et al., 2005; Tonteri, 2008) и гаплотипов мтДНК (Nilsson et al., 2001; Asplund et al., 2004; Makhrov et al., 2005).

Выявлены генетические различия между субпопуляциями семги, обитающими в разных притоках крупных рек – Печоры (Титов и др., 1992; Kazakov, Titov, 1993), Северной Двины (Студенов и др., 2001; Asplund et al., 2004), Варзуги (Казаков, Титов, 1998; Veselov et al., 2005; Primmer et al., 2006). Показана стабильность во времени наблюдаемых различий между субпопуляциями притоков Печоры.

Таким образом, результаты генетических исследований, как и данные по мечению, доказывают, что в каждой нерестовой реке обитает самоподдерживающаяся популяция семги (обзор: Артамонова, Махров, 2005). Аналогичные данные имеются и для популяций других регионов (обзор: Verspoor et al., 2005); предполагается также, что популяции соседних рек могут объединяться в метапопуляции (обзор: King et al., 2007).

Адаптивное значение генетического полиморфизма. Показаны генетические отличия популяций семги от популяций других регионов и их различия между собой по таким признакам, как чувствительность к высокой температуре, скорость роста, способность молоди выжить в соленой воде (Европейцева, 1960, 1962), скорость эмбрионального развития (Анохина, Бакулина, 1990), число пятен на жаберной крышке (Артамонова и др., 2004). Есть указание на различную чувствительность особей из разных популяций семги к заболеваниям (Карасева, 2003). Экспериментально показано, что популяция беломорской реки Кереть значительно более чувствительна к заражению паразитом *Gyrodactylus salaris*, чем популяция притока Онежского озера – реки Шуя (Хаймина и др., в печати).

Сотрудники рыбоводных заводов Архангельской области неоднократно отмечали золотистый цвет молоди семги от производителей реки Сояна, темную окраску пестряток и производителей Колы, светлую окраску рыб, полученных от производителей Онеги, что было особенно хорошо заметно, когда рыб из разных популяций выращивали на заводе одновременно. Исследования, проведенные на зарубежных популяциях, показали наследуемость целого ряда других адаптивно-важных признаков (обзор: Garcia de Leaniz et al., 2007).

В ходе эксперимента по созданию маточного стада семги на Выгском рыбоводном заводе отмечено увеличение темпа роста потомков маточного стада по сравнению с потомками диких производителей (Крамаренко и др., 2002). Это маточное стадо может быть основой для создания отечественной селективируемой линии атлантического лосося, предназначенной для товарного выращивания.

В условиях семужьих рыбоводных заводов отмечена также связь размеров особей с полиморфизмом по генам, кодирующим белки изоцитратдегидрогеназу и пероксидазу (Никоноров и др., 1987), и получены доказательства отбора по генам, кодирующим малик-энзим (Слынько, Семенова, 1981; Артамонова и др., 2005), изоцитратдегидрогеназу (Офицеров и др., 1989; Артамонова и др., 2005), эстеразу Д (Артамонова, Махров, 2002).

Данные об адаптивном значении полиморфизма по этим и по ряду других ядерных генов получены при изучении других популяций атлантического лосося (обзор: Артамонова, 2007а,б). Снижения давления отбора на группы искусственно выращиваемой молоди семги можно достигнуть с помощью дозированного облучения личинок лазерным или магнитно-инфракрасно-лазерным излучением (Попова и др., 2005).

В настоящее время имеется только одно свидетельство отбора в природной популяции семги. В реке Кереть, куда около 20 лет назад попал опасный паразит *Gyrodactylus salaris*, выявлен отбор в пользу одного из гаплотипов митохондриальной ДНК (Артамонова и др., 2008). Данные об адаптивном значении полиморфизма по мтДНК получены и западными исследователями (King et al., 1993; Ciborowski et al., 2007).

Изменение генофонда в результате нерационального использования популяций. Отбор, о котором шла речь выше – самый мощный, но не единственный фактор, изменяющий генофонд семги в условиях нарушения среды обитания. В числе этих факторов – межвидовая гибридизация, дрейф генов, миграция и мутации.

В частности, когда в реке падает численность семги, в ней появляются гибриды семги и кумжи, поскольку на некоторых порогах присутствуют производители только одного пола. Гибриды были выявлены в Лувеньге (Лоечко, Черницкий, 1986), Туломе (Семенова, Слынько, 1988б), Керети (Махров и др., 1998б) и Нильме (Махров и др., 1998б; Пономарева и др., 2002). Гибриды в 1980 году обнаружены в небольшом количестве на Тайбольском рыбоводном заводе (Семенова, Слынько, 1988б), но в настоящее время они отсутствуют на всех семужьих рыбоводных заводах (Махров и др., 2004, неопubl. данные). Результаты экспериментов, проведенных в других регионах, показывают, что гибриды обычно стерильны, но иногда способны размножаться, в том числе путем гиногенеза. В результате гибридизации возможно проникновение генов одного вида в геном другого – интрогрессия (обзор: Makhrov, 2008).

Дрейф генов отмечен в естественных популяциях семги, численность которых сильно упала – в реках Нильме (Пономарева и др., 2002) и Керети (Артамонова и др., 2005). Однако эти факты представляют собой исключение – для диких популяций на всем ареале атлантического лосося характерна стабильность частот аллелей генов (обзоры: Verspoor et al., 2005; Артамонова, 2007а). Различия в частотах аллелей некоторых генов между генерациями отмечены на семужьих рыбоводных заводах (Титов, 1992; Пономарева, 2007), но эти различия связаны, скорее всего, с отбором. Не исключено также, что в разные годы среди производителей, взятых для рыбоводных работ, преобладали особи из разных субпопуляций. Например, на Умбском рыбоводном заводе иногда использовали производителей «озимой» формы.

Перевозки искусственно выращенной молоди с одного рыбоводного завода на другой и выпуск ее не в те реки, откуда происходят производители, практиковались (в соответствии с рекомендациями ихтиологов) длительное время (обзор: Артамонова, Махров, 2005), и только несколько лет назад практически полностью прекращены. Промысловый возврат чужеродных рыб был низким (Артамонова и др., 2002), и небольшое изменение генетической структуры популяций в результате перевозок отмечено только в реке Онега (Пономарева, 2007).

В Керети выявлена семга с мутацией гетероплазмии – у этой рыбы присутствуют два разных гаплотипа митохондриальной ДНК (Артамонова и др., 2008). Ранее такие мутации у атлантического лосося не отмечались, и вполне возможно, что возникновение гетероплазмии как-то связано с неблагоприятными условиями обитания для семги в Керети, в частности, с инвазией паразита *Gyrodactylus salaris*.

*Настоящая работа выполнена в рамках программы Президиума РАН «Биоразнообразие: инвентаризация, функции, сохранение» (проекты 2.3.1 и 2.3-П) и Государственного контракта № 02.515.12.5003.*

#### Литература

- Анохина В.С., Бакулина Л.Е., 1990. Сравнительная характеристика развивающейся икры и раннего потомства атлантического лосося (*Salmo salar* L.) разных рек // Труды Коми НЦ УрО АН СССР. № 114. С. 88–93.
- Артамонова В.С., 2007а. Генетические маркеры в популяционных исследованиях атлантического лосося (*Salmo salar* L.). I. Признаки кариотипа и аллозимы // Генетика. Т. 43, № 3. С. 293–307.
- Артамонова В.С., 2007б. Генетические маркеры в популяционных исследованиях атлантического лосося (*Salmo salar* L.). II. Анализ последовательностей ДНК // Генетика. Т. 43, № 4. С. 437–450.
- Артамонова В.С., Махров А.А., 2002. Адаптивная роль гетерозиготности по локусу *ESTD\**, проявляющаяся у семги (*Salmo salar* L.) в условиях рыбоводного завода // Материалы научн. генетич. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения А.Р. Жебрака и 70-летию образования кафедр генетики в Московской сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева. 26–27 февраля 2002 г. М. С. 17–19.
- Артамонова В.С., Махров А.А., 2005. Популяционная структура семги (*Salmo salar* L.) и ее изменение под влиянием рыбоводства // Ихтиофауна малых рек и озер Восточного Мурмана: биология, экология, ресурсы. Апатиты. С. 144–157.
- Артамонова В.С., Махров А.А., Крылова С.С., Лазарева Л.В., Прищепа Б.Ф., 2002. Выпуск молоди семги в «чужие» реки и эффективность работы рыбоводных заводов // Вопросы рыболовства. Т. 3, № 3. С. 463–473.
- Артамонова В.С., Махров А.А., Холод О.Н., 2005. Неконтролируемый отбор в маточных стадах семги (*Salmo salar* L.) // Лососевидные рыбы Восточной Финляндии. Петрозаводск. С. 3–12. ([www.krc.karelia.ru](http://www.krc.karelia.ru))
- Артамонова В.С., Хаймина О.В., Махров А.А., Широков В.А., Шульман Б.С., Щуров И.Л., 2008. Эволюционные последствия вселения паразита (на примере атлантического лосося, *Salmo salar* L.) // Доклады АН. Т. 423, № 2. С. 275–278.
- Артамонова В.С., Юдина З.Н., Смирнов В.Э., Махров А.А., 2004. Влияние условий выращивания и наследственности на число пятен в области жаберной крышки у молоди атлантического лосося (*Salmo salar* L.) // Генетика в XXI веке: современное состояние и перспективы развития. Тез. докл. третьего съезда ВОГиС. Москва, 6–12 июня 2004 г. т. 1. С. 37.
- Баршене Я.В., 1978. Онтогенетическая изменчивость числа хромосом у атлантического лосося (*Salmo salar* L.) // Генетика. Т. 14, № 11. С. 2029–2036.
- Баршене Я.В., 1981. Индивидуальный хромосомный полиморфизм у атлантического лосося // Цитология. Т. 23, № 6. С. 69–700.
- Европейцева Н.В., 1960. Опыт прудового выращивания молоди семги, балтийского и озерного лососей до покнатного состояния // Матер. совещ. по вопросам рыбоводства. М. С. 20–30.
- Европейцева Н.В., 1962. Сравнительный анализ процесса десмолтификации у молоди разных экологических форм атлантического лосося // Ученые записки Ленинградского гос. ун-та. № 311. Серия биол. Вып. 48. С. 46–73.
- Зелинский Ю.П., 1976. Хромосомные наборы атлантического лосося *Salmo salar* L. жилой популяции озер Куйто (бассейн Белого моря) // Вопр. ихтиол. Т. 16, Вып. 6. С. 1119–1124.

- Зелинский Ю.П., Свимонишвили Т.Н., Городилов Ю.Н., 1980. Кариотипы популяций семги (*Salmo salar* L.) рек Кереть и Печора // Кариологическая изменчивость, мутагенез и гиногенез у рыб. Л. С. 10–15.
- Казаков Р.В., Титов С.Ф., 1992. Популяционно-генетический аспект рыбоводной работы в лососеводстве Европейского Севера СССР // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. Вып. 304. С. 109–124.
- Казаков Р.В., Титов С.Ф., 1998. Популяционно-генетическая структура вида *Salmo salar* L. // Атлантический лосось. СПб. С. 43–72.
- Карасева Т.А., 2003. Проблемы здоровья рыб в аквакультуре: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Петрозаводск: ПИНРО. 22 с.
- Крамаренко И.Я., Лапочкина Н.И., Артамонова В.С., Махров А.А., 2002. Опыт создания пресноводного маточного стада семги (*Salmo salar* L.) // Проблемы воспроизводства, кормления и борьбы с болезнями рыб при выращивании в искусственных условиях. Матер. научн. конф. 14–18 октября 2002 г. Петрозаводск. С. 68–72.
- Логинова Г.А., Красноперова С.В., 1981. Эксперимент по гибридизации семги и горбуши (предварительное сообщение) // Труды ПИНРО. Вып. 45. С. 112–120.
- Лоечко А.А., Черницкий Л.Г., 1986. Сравнительный анализ миграции смолтов семги *Salmo salar* L. и кумжи *Salmo trutta* L. // Вопр. ихтиол. Т. 26, Вып. 5. С. 795–801.
- Махров А.А., Артамонова В.С., Мурза И.Г., Христофоров О.Л., Алтухов Ю.П., 2004. Гибридизация атлантического лосося (*Salmo salar* L.) и кумжи (*S. trutta* L.) при искусственном воспроизводстве // Генетика. Т. 40, № 11. С. 1523–1529.
- Махров А.А., Болотов И.Н., 2006. Пути расселения и видовая принадлежность пресноводных животных севера Европы (обзор молекулярно-генетических исследований) // Генетика. Т. 42, № 10. С. 1319–1334.
- Махров А.А., Верспур Э., Артамонова В.С., О'Салливан М., 2001. Поток генов из североамериканских в североευропейские популяции атлантического лосося (*Salmo salar* L.) // Биоразнообразие Европейского Севера. Тез. докл. межд. конф., 3–7 сентября 2001 г. Петрозаводск. С. 109.
- Махров А.А., Кузищин К.В., Новиков Г.Г., 1998б. Естественные гибриды атлантического лосося *Salmo salar* с кумжей *Salmo trutta* в реках бассейна Белого моря // Вопр. ихтиол. Т. 38, Вып. 1. С. 67–72.
- Махров А.А., Скоола О., Алтухов Ю.П., Саундерс Р.Л., 1998а. Аллозимный локус *ESTD*\* как маркер генетической дифференциации популяций атлантического лосося (*Salmo salar* L.) Европы и Северной Америки // Доклады АН. Т. 360, № 6. С. 850–852.
- Никоноров С.И., Витвицкая Л.В., Обухов Д.К., Кучеров О.А., Офицеров М.В., Климонов В.О., 1987. Генетическая гетерогенность и показатели развития центральной нервной системы молоди атлантического лосося с разным темпом роста // Доклады АН СССР. Т. 294, № 2. С. 471–475.
- Осинов А.Г., 1999. Лососевые рыбы *Salmo*, *Parasalmo* и *Oncorhynchus*: генетическая дивергенция, филогения и классификация // Вопр. ихтиол. Т. 39, Вып. 5. С. 595–611.
- Офицеров М.В., Голованова Т.С., Витвицкая Л.В., Никоноров С.И., 1989. Влияние заводского выращивания на генетическое разнообразие молоди атлантического лосося *Salmo salar* // Вопр. ихтиол. Т. 29, Вып. 5. С. 871–874.
- Пономарева Е.В., 2007. Популяционная структура атлантического лосося (*Salmo salar* L.) Европейского Севера России: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. М.: ВНИРО. 24 с.
- Пономарева Е.В., Пономарева М.В., Кузищин К.В., Махров А.А., Афанасьев К.И., Новиков Г.Г., 2002. Межгодовые изменения структуры популяции и генетическая изменчивость атлантического лосося *Salmo salar* реки Нильмы (Белое море) // Вопр. ихтиол. Т. 42, № 3. С. 347–355.
- Попова Э.К., Артамонова В.С., Холод О.Н., Махров А.А., 2005. Стабилизация фенотипического и генотипического разнообразия молоди семги (*Salmo salar* L.) в аквакультуре путем кратковременного воздействия на личинок лазерным излучением // Проблемы изучения, разведения и охраны ресурсов Белого моря. Матер. IX междунар. конф., 11–14 октября 2004 г., г. Петрозаводск. Петрозаводск. С. 263–268.
- Семенова О.В., 1992. Кариотипы атлантического лосося *Salmo salar* L. из рек Белого, Балтийского морей и Ладожского озера // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. Вып. 304. С. 164–175.
- Семенова С.К., 1988. Генетическая дифференциация популяций атлантического лосося (*Salmo salar* L.) северо-западной части СССР: Дисс. ... канд. биол. наук. М.: ИОГен АН СССР. 107 с.
- Семенова С.К., Слынько В.И., 1988а. Генетическая дифференциация популяций атлантического лосося (*Salmo salar* L.) северо-западной части СССР // Доклады АН СССР. Т. 300, № 5. С. 1239–1243.
- Семенова С.К., Слынько В.И., 1988б. Полиморфизм белков в популяциях атлантического лосося (*Salmo salar* L.), кумжи (*S. trutta* L.) и их гибридов // Генетика. Т. 24, № 3. С. 548–555.
- Слынько В.И., Семенова С.К., 1981. Электрофоретическая изменчивость биохимических признаков у семги Кольского полуострова // Генетика, селекция и гибридизация рыб. Тез. докл. II Всес. совещ. Ростов-на-Дону, 16–20 марта 1981. Ростов-на-Дону. С. 42–43.

- Студенов И.И., Титов С.Ф., Семенова О.В., 2001. Состояние естественного воспроизводства и популяционная структура атлантического лосося *Salmo salar* в притоках реки Ваги и реке Ваеньге (бассейн р. Северной Двины) // *Вопр. ихтиол.* Т. 41, № 2. С. 210–219.
- Титов С.Ф., 1992. Особенности мониторинга генетической структуры заводских популяций атлантического лосося *Salmo salar* L. // *Сб. науч. тр. ГосНИОРХ.* Вып. 304. С. 156–163.
- Титов С.Ф., Казаков Р.В., Антонова В.П., 1992. Внутрипопуляционная дифференциация атлантического лосося *Salmo salar* L. реки Печоры. 1. Особенности генетического полиморфизма в Пижме и Верхней Печоре // *Сб. научн. тр. ГосНИОРХ.* Вып. 304. С. 146–155.
- Хаймина О.В., Шульман Б.С., Широков В.А., Щуров И.Л., Махров А.А., Игнатенко В.В., Артамонова В.С. 2009. Различия в устойчивости к паразиту *Gyrodactylus salaris* атлантического лосося (*Salmo salar*) двух популяций бассейнов Белого и Балтийского морей // *Сб. научн. тр. ГосНИОРХ.* (в печати).
- Штерман Л.Я., 1967. Серологические показатели молоди атлантического лосося (семги) озимой и яровой форм // *Обмен веществ и биохимия рыб.* М. С. 310–313.
- Шубин П.Н., Ефимцева Э.А., Челпанова Т.И., Шубин Ю.П., 2000. Аллозимная изменчивость лососевидных рыб Европейского Севера. Сыктывкар: Институт физиологии Коми НЦ УрО РАН. 100 с.
- Asplund T., Veselov A., Primmer C.R. et al., 2004. Geographical structure and postglacial history of mtDNA haplotype variation in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) among rivers of the White and Barents Sea basins // *Ann. Zool. Fenn.* V. 41. № 3. P. 465–475.
- Bourke E.A., Coughlan J., Jansson H., Galvin P., Cross T.F., 1997. Allozyme variation in populations of Atlantic salmon located throughout Europe: diversity that could be compromised by introductions of reared fish // *ICES J. Mar. Science.* V. 54. P. 974–985.
- Ciborowski K.L., Consuegra S., Garcia de Leaniz C., Wang J., Beaumont M.A., Jordan W.C., 2007. Stocking may increase mitochondrial DNA diversity but fails to halt the decline of endangered Atlantic salmon populations // *Cons. Genetics.* V. 8. P. 1355–1367.
- Garcia de Leaniz C., Fleming I.A., Einum S. et al., 2007. A critical review of adaptive genetic variation in Atlantic salmon: implications for conservation // *Biol. Rev.* V. 82. P. 173–211.
- Kazakov R.V., Titov S.F., 1991. Geographical patterns in the population genetics of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., on U.S.S.R. territory, as evidence for colonization routes // *Journal of Fish Biology.* V. 39. P. 1–6.
- Kazakov R.V., Titov S.F., 1993. Population genetics of salmon, *Salmo salar* L., in northern Russia // *Aquaculture and Fisheries Management.* V. 24. P. 495–506.
- King D.P.F., Hovey S.L., Thompson D., Scott A., 1993. Mitochondrial DNA variation in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., populations // *Journal of Fish Biology.* V. 42. P. 25–33.
- King T.L., Verspoor E., Spidle A.P. et al., 2007. Biodiversity and population structure // *The Atlantic salmon. Genetics, Conservation and Management* / Eds. E. Verspoor, L. Stradmeyer, J.L. Nielsen. Oxford. P. 117–166.
- Makhrov A.A., 2008. Hybridization of the Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and brown trout (*S. trutta* L.) // *Zoosystematica Rossica.* V. 17, № 2. P. 129–143.
- Makhrov A.A., Verspoor E., Artamonova V.S., O'Sullivan M., 2005. Atlantic salmon colonization of the Russian Arctic coast: pioneers from North America // *Journal of Fish Biology.* V. 67. Suppl. A. P. 68–79.
- Nilsson J., Gross R., Asplund T. et al., 2001. Matrilinear phylogeography of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in Europe and postglacial colonization of the Baltic Sea area // *Mol. Ecol.* V. 10. P. 89–102.
- Primmer C.R., Veselov A.J., Zubchenko A., Poututkin A., Bakhmet I., Koskinen M.T., 2006. Isolation by distance within a river system: genetic population structuring of Atlantic salmon, *Salmo salar*, in tributaries of the Varzuga River in northwest Russia // *Mol. Ecol.* V. 15. P. 653–666.
- Ryynanen H.J., Primmer C.R., 2004. Distribution of genetic variation in the growth hormone 1 gene in Atlantic salmon (*Salmo salar*) populations from Europe and North America // *Mol. Ecol.* V. 13. P. 3857–3869.
- Skaala O., Makhrov A.A., Karlsen T., Jorstad K.E., Altukhov Y. P., Politov D.V., Kuzishin K.V., Novikov G.G., 1998. Genetic comparison of salmon from the White Sea and north-western Atlantic Ocean // *Journal of Fish Biology.* V. 53, № 3. P. 569–580.
- Tonteri A., 2008. Phylogeography and population genetics of north European Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). Turku: Turun Yliopisto. 40 p.
- Tonteri A., Titov S., Veselov A. et al., 2005. Phylogeography of anadromous and non-anadromous Atlantic salmon (*Salmo salar*) from northern Europe // *Ann. Zool. Fennici.* V. 42. P. 1–22.
- Verspoor E., Beardmore J.A., Consuegra S. et al., 2005. Population Structure in the Atlantic Salmon: Insights From 40 Years of Research into Genetic Protein Variation // *Journal of Fish Biology.* V. 67. Suppl. A. P. 3–54.
- Veselov A., Primmer C.R., Zubchenko A., Potutkin A., Koskinen M.T., Kaliuzhin S., 2005. Diversity of spawning migration and genetic population structuring of Atlantic salmon *Salmo salar* in the Varzuga river // *Локоцевидные рыбы Восточной Фенноскандии.* Петрозаводск. С. 211–221. ([www.krc.karelia.ru](http://www.krc.karelia.ru))

Verspoor E., McCarthy E.M., Knox D. et al., 1999. The phylogeography of European Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) based on RFLP analysis of the ND1/16sRNA region of the mtDNA // Biological Journal of the Linnean Society. V. 68. P. 129–146.

Wennevik V., Skaala O., Titov S.F., Studyonov I., Nævdal G., 2004. Microsatellite variation in populations of Atlantic salmon from North Europe // Environmental Biology of Fishes. V. 69. P. 143–152.

## **THE GENE POOL OF ATLANTIC SALMON OF NORTHERN RUSSIA: THE HISTORY OF FORMATION, ADAPTIVE VALUE, AND WAYS FOR PRESERVING AND USING (A REVIEW OF RESEARCH)**

**V. S. Artamonova, A. A. Makhrov**

Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Moscow, Russia  
e-mail: valar99@mail.ru

The main results of genetic studies on Atlantic salmon of the White Sea and Barents Sea basins are reviewed. These data lead to the conclusion that salmon penetrate to this region along the coasts of the modern Norway, as well as from North America and the Baltic basin. It has been demonstrated that separate populations of salmon to inhabit each river and even each tributary of large rivers. Differences between the populations in genetic structure, including the frequencies of allozyme alleles and mitochondrial DNA haplotypes, are largely determined by local adaptations. Anthropogenic factors alter the population gene pools through changing the direction of selection and enhancing interspecific hybridization, genetic drift, migration, and probably the mutation process.

## **ОСОБЕННОСТИ ПЕЛАГИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЫБНОГО НАСЕЛЕНИЯ РУСЛОВЫХ УЧАСТКОВ РЫБИНСКОГО ОДОХРАНИЛИЩА**

**М.И. Базаров, М.И. Малин**

Учреждение Российской академии наук Институт биологии внутренних вод  
им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Ярославская обл., Россия  
e-mail: bazarov@ibiw.yaroslavl.ru

Изучение пространственного распределения рыб в водохранилищах представляет большой интерес для выявления адаптаций и экологических механизмов размещения рыб в искусственных водоемах.

Наряду с классическими ихтиологическими методами исследований пространственного распределения рыб гидроакустический метод давно зарекомендовал себя как оперативный и репрезентативный (Dembinski, 1971; Burczynski, 1982; Поддубный, Юданов, Малинин и др., 1985; Экологические факторы..., 1993), однако лучшие результаты можно получить, сочетая траловый лов с гидроакустической съемкой.

Как и ранее (Поддубный, и др., 1985) изучение численности и пространственного распределения рыбного населения на Рыбинском водохранилище велось по разработанной сетке станций методом тралово-акустической съемки.

Тралово-акустические съемки в Рыбинском водохранилище проводились в 2002–2008, гг. по глубоководным участкам всех 4 плесов (Шекснинского, Центрального, Моложского и Волжского) на экспедиционных судах ИБВВ РАН. За каждую эхосъемку эхолотами Simrad EY-M (несущая частота 70 кГц, угол луча 22°) и Elac LAZ-4400 (несущая частота 50 кГц, угол луча 17°), которая занимала в среднем 4–5 дней, проводилось 15–20 тралений пелагическим разноглубинным тралом.

Наиболее плотные нагульные скопления массовых рыб в Рыбинском водохранилище имеют относительную пространственную разобщенность по видам и по размерным классам как в вертикальном (по глубине обитания), так и в горизонтальном аспектах. Скопления с высокой плотностью рыб в Рыбинском водохранилище отмечаются не часто. Значительная его акватория характеризуется сильной разреженностью распределения пелагических рыб. Биомасса рыб здесь в 80-е годы нередко доходила до 20–30 кг/га. Сейчас редко достигает 18 кг/га. При прохождении 2–3 км отрезка пути судна эхолот здесь, как и в прошлые годы, регистрировал лишь единичные особи и отдельные

небольшие стайки в толще воды. Контрольные уловы по таким участкам подтверждают низкую плотность рыб за все время наблюдений. Эти уловы показали тот же набор видов, что встречаются и на местах плотных скоплений, т. е. снеток, ряпушка, синец, чехонь, лещ и разновидовая молодь в толще воды (80-е годы) и тюлька, лещ, окунь, плотва, ряпушка, синец, судак в 2002–2008 гг. (табл.). Не всегда выделяется явное доминирование одного-двух видов. Нередко в равном количестве встречается сразу 4–6 видов.

Например, ранее у снетка очень плотные скопления (до 1–3 шт./м<sup>3</sup>) чередовались с участками, где снетка нет или где изредка встречается его рассеянные отдельные стайки. Самые плотные скопления наблюдались у наиболее массовых для Рыбинского водохранилища видов рыб: у снетка до 50–60 тыс. шт./га (или 300–350 кг/га), синца до 1000–1200 шт./га (или 150–200 кг/га (Поддубный, и др., 1985).

У тюльки плотные скопления наблюдались в Приплотинном плесе до 18–20 кг/га у плотины Рыбинской ГЭС в 2004 г. Обращает на себя внимание тот факт, что распределение тюльки по водохранилищу тяготеет к южным плесам. В вертикальном аспекте тюлька придерживается верхних горизонтов воды и никогда не встречается ниже термоклина.

Основной особенностью распределения рыбного населения Рыбинского водохранилища в настоящее время является широкое распространение тюльки. Снеток, доминировавший ранее не исчез полностью. Небольшие его скопления до сих пор встречаются в Центральном плесе.

Тралово-акустические данные показывают, что в горизонтальном и вертикальном плане пространственная структура рыбного населения в глубоководных (глубины более 4–6 м) участках многообразна (и во многом схожа с распределением пошлых лет): в горизонтальном аспекте – от дисперсно рассредоточенных отдельных рыб или небольших стаяк, находящихся друг от друга на значительном расстоянии до очень плотных скоплений рыб на небольших участках, в вертикальном аспекте – от хорошо выраженной многослойности нахождения рыб по видам до их дисперсионного распределения по всей толще воды от дна до верхних горизонтов.

#### **Видовой состав уловов пелагическим тралом на русловых участках Рыбинского водохранилища по данным 2008 года.**

Вид	Видовой состав, %	Соотношение по биомассе, %
Лещ	0,67	20,38
Окунь	25,46	10,06
Плотва	4,42	14,02
Ряпушка	2,2	4,56
Синец	1,41	14,46
Снеток	0,21	0,04
Судак	2,31	6,12
Тюлька	59,24	21,79
Уклейка	1,67	0,12
Чехонь	2,40	8,45

*Работа выполнена в рамках Программы ОБН РАН «Биологические ресурсы России»*

#### **Литература**

- Малинин Л.К., Линник В.Д. 1981. О возможности эхометрического определения коэффициента уловистости активных орудий лова // Информ. бюл. ИБВВ АН СССР. Л.: Наука, № 50. С. 58–61.
- Поддубный А.Г., Юданов К.И., Малинин Л.К., Стрельников А.С., Лапицкий И.И. 1985. Плотность рыбного населения открытых плесов водохранилищ Волги и Дона / Теория формирования численности и рациональное использование стад промысловых рыб. М.: Наука. С. 129–137.
- Юданов К.И. 1960. О разработке способа определения количества рыбы в скоплении // Вопросы ихтиологии, № 15. С. 71–76.
- Юданов К.И., Калихман И.Л., Теслер В.Д. 1984. Руководство по проведению гидроакустических съемок. М.: ВНИРО, 124 с.
- Экологические факторы пространственного распределения и перемещения гидробионтов. 1993. Ред.: Поддубный А.Г. СПб: Гидрометеиздат. 336 с.
- Burczynski J. 1982. Introduction al uso de sistemas sonar para la estimacion de la biomassa de peces FAO // Documentos Tecnicos de Pesca. Rome, № 191. Rev. 1. 74.
- Dembinski W. 1971. Vertical distribution of vendace (*Coregonus albula* L.) and other pelagic fish species in some Polish lakes // J. Fish. Biol. Vol. 3. № 3. P. 341–357.



## НОВЫЕ ДАННЫЕ О ВОДНЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ БЕЛОГО МОРЯ В ПИТАНИИ ЛЕСНЫХ ПТИЦ

С.Н. Баккал

Учреждение Российской академии наук Зоологический институт РАН, г. Санкт-Петербург, Россия  
e-mail: museum\_up@zin.ru

Проблемы, связанные с питанием птиц в северных широтах, где плотность животного населения очень низка, а кормовые условия не всегда стабильны, часто привлекали внимание не только орнитологов, но и специалистов в других биологических областях. Неоднократно упоминалось о том, что некоторые лесные птицы на Белом море активно используют литоральную фауну (Виноградов 1950; Баккал 1995, 1997, 2000, 2006; Шутова 1997). Благодаря приливно-отливным колебаниям кормовые объекты литорали периодически становятся доступными для некоторых птиц, не связанных с морем, что позволяет им включать эти корма в свой рацион и выкармливать птенцов. На сегодняшний день, согласно имеющейся у нас информации, этот список состоит не менее чем из 16 видов воробьиных птиц. Практика работы с воробьиными птицами показала, что устойчивые трофические связи с литоралью для некоторых из них могли иметь определенную качественную специфику, в частности, в диете гнездовых птенцов, как источник не только солей кальция, но и как дополнительная белковая пища (Баккал 1995). Помимо широкого общебиологического интереса, исследование подобных вопросов находится в русле общей проблемы, связанной с естественными процессами, происходящими в такой сложной «наземно-водной» экосистеме, как литораль.

В течение нескольких сезонов питание воробьиных птиц изучали в Кандалакшском заливе Белого моря в южной части (о.Великий) и на Северном архипелаге (о.Ряшков) в 1987–1993 гг. и 2002–2006 гг. путем наблюдений за местами кормежки, тактикой сбора корма индивидуально опознаваемых птиц и прижизненным исследованием пищеводов птенцов. При этом регистрировали такие параметры кормового поведения птиц как направление полёта, продолжительность отсутствия, приёмы схватывания добычи и разнообразие жертв, добытых во время одной охоты.

При исследовании гнездовой биологии белобровика *Turdus iliacus* и рябинника *T. pilaris* на о.Великом (с анализом особенностей состава и соотношения разных видов корма), было показано, что 1) в этих локальных популяциях основой питания птенцов обоих видов оказались мелкие дождевые черви *Dendrobaena octaedra* (*Lumbricidae: Annelida*), доля которых (по количеству экземпляров) составляла 37 и 28 %, соответственно (Баккал 1993, с.279). Наряду с этим, уже тогда было установлено, что 2) по сравнению с белобровиками рябинники, как более энергичные и сильные птицы, периодически предпочитали охотиться на более крупную и разнообразную добычу, среди которой встречались (правда, неизвестно каким способом добытые) такие пищевые объекты как *Arenicola marina*, *Nereis virens* и *Ammodytes marinus*. В результате многолетних наблюдений на широте Полярного круга (Мурманская обл.) было установлено, что 3) в сезон размножения среди воробьиных птиц наиболее продолжительным периодом суточной активности отличаются представители сем. *Turdidae*: *T. iliacus* и *T. pilaris* (Баккал 1993, с.272), «рабочий день» которых может продолжаться 20.3–20.8 ч (lim 19.0–21.9, n=67). Так же, как и в более южных районах, рябинники для добывания пищи на Севере использовали территории, удаленные на расстояние до 300 м от гнездового участка, но при этом чаще и шире использовали открытую зону литорали. Наблюдения за рябинниками на о.Ряшков (2002–2006 гг.) показали, что для них литораль является ареной привлечения в течение всего сезона размножения и фактически на всей своей площади. Однако из более чем 350 регистраций за охотой рябинников в 77 % случаев их наблюдали в верхних горизонтах литорали, где они могли использовать наиболее многочисленные и легкодоступные пищевые объекты – литоральные *Amphipoda* и *Mollusca*.

На исследованной территории для рябинников известно как относительно небольшие скученные поселения (колониального типа), так и одиночное гнездование. Но и при одиночно-территориальном типе гнездования у них сохраняется одно из главных преимуществ колониальных видов птиц – способность кормиться за пределами охраняемой территории (очень часто в биотопах, отличающихся от гнездовых). Нередко отдельные гнёзда рябинников или микроколонии располагались на участках смешанного леса, примыкающих к приливно-отливным отмелям. Чаще всего для дроз-

дов характерно разыскивание добычи на фиксированной поверхности – растительной и животной пищи на земле (разгребание лесной подстилки или опавшей листвы с помощью клюва), а также различных плодов на ветвях деревьев и кустарников. Активное преследование добычи дроздами в наземных условиях также используется, но редко. Схватывание добычи в воздухе (или над землёй), т.е. воздушные кормовые методы, нам наблюдать не приходилось, хотя, следует заметить, что такими возможностями рябинник всё-таки обладает (Резанов 2001). Исключительно редкое явление, – когда птенцы дроздов получают от своих родителей мелких позвоночных (Покровская 1956; Бровка 1959; Нейфельдт 1961; Гаранин 1964; Прокофьева 1983, 2005; Баккал 1988; Jacquat, Monney 1993), в том числе и птенцы рябинника. Тем не менее, иногда рябинника считают самым растительноядным видом среди дроздов р. *Turdus* (Прокофьева 1972).

При наблюдениях в Южной губе о.Ряшков нами было установлено, что рябинники обладают ещё одним активным кормовым методом, направленным на разыскивание и добывание водных (морских) объектов. Используя различные варианты полётов (планирующего или пикирующего с частичным погружением в воду), они охотились на мелководных на полихет *Nereis virens* Sars. (*Polychaeta: Annelida*), которые, выходя для размножения в поверхностные слои, могли оказаться доступными для дроздов. В общей сложности мы наблюдали успешную охоту рябинников на нерестящихся нереисов в 8 случаях и один раз обнаружили передний (головной) фрагмент *N.virens* в кормовой порции уже оперённого птенца *T.pilaris*. Во время наших наблюдений (конец июня – начало июля) было хорошо видно, как рябинники схватывали с поверхности воды активно передвигающихся одиночных червей, длина которых не превышала 200–250 мм. Кроме того, во время отлива на песчаной литорали Южной губы о.Ряшков несколько раз наблюдали, как рябинники пытались энергично раскапывать норки, в которых могли находиться отнерестившиеся особи нереид. Характерные следы, оставленные в результате таких «раскопок», позволяли предполагать, что иногда им удавалось добывать переползающих из нор червей. В связи с этим уместно напомнить, что при определенных условиях рябинники используют отмели и пресноводные водоемы как среду обитания при выкармливании птенцов представителями водной фауны (Покровская, Герд 1955; Покровская 1976).

История сравнительно недавнего массового проникновения многощетинкового червя *N.virens* в Кандалакшскую губу Белого моря подробно изложена (Хлебович 1963). Массовый нерест этих червей продолжается от 3 (Там же) до 2–5 дней (Шкляревич 1979). Однако в пределах Северного архипелага размножение этих полихет проходит не одновременно, так что период питания ими разных птиц (в основном, морских) продолжается иногда до 1.5 месяцев. О питании морских птиц в Кандалакшском заливе нереидами (в том числе и видом-вселенцем *N.virens*) сообщалось неоднократно (Виноградов 1950; Перцов 1963; Бианки 1967; Шкляревич 1979). Что касается рябинника, то наши наблюдения на о.Ряшков – одна из первых регистраций успешных случаев добывания ими полихет. Кроме того, приведенные выше факты – примеры проявления т.н. «хищнического» поведения дроздов, пока еще слабо исследованного у этой группы птиц. (Есть определенные доказательства, что некоторые виды мелких воробьиных птиц в северных частях ареала чаще проявляют склонность к хищничеству, чем в южных популяциях). Питание нереидами ранее регистрировалось у белобровика (Виноградов 1950, с. 113), а мелкими полихетами *Nephtys* sp.- известно только для белой трясогузки *Motacilla alba* (Шутова 1997, с.14), способной собирать корм по всей ширине литорали.

У рябинника и белобровика в период размножения частично перекрываются пищевые спектры, ими используются сходные кормовые субстраты и приёмы добывания корма, но биотопические предпочтения чаще всего не совпадают. Обычно рябинники добывают корм на открытых участках, а белобровики – в лесу. Однако в Беломорском регионе оба вида регулярно посещали литораль, где находили дополнительные корма для себя, для гнездовых и уже подросших птенцов (Баккал 1994). Открытое пространство литорали имело для них определённые преимущества. При коллективной охоте, когда одновременно несколько рябинников и белобровиков добывали корм на литорали, они чаще сохраняли «прямую» позу – для наблюдения за окружающей обстановкой. Проявляя настороженность по отношению к хищникам, они одновременно отмечали места кормёжки по поведению других особей. Наблюдали не только самостоятельный поиск пищи, но также присоединение к уже кормящимся на литорали особям.

По нашим наблюдениям рябинник, пожалуй, один из немногих видов среди лесных воробьиных птиц, который может использовать литораль для сбора корма летом в такой же мере, как и весной (до начала размножения). В дополнение к уже известным фактам, в кормовой и экологической специфике этого вида можно выделить определенный ряд существенных факторов (оснований) для проявления им такого поведения:

- Для рябинника характерна высокая степень политрофности. Строго определенных специфических особенностей, как в качественном составе корма, так и в характере сезонной динамики трофических связей не выявлено. Часто проявляет себя как один из наиболее пластичных видов в отношении смены характера питания. Демонстрирует эффективное сочетание разнообразных способов добывания корма.
- У рябинника проявляется склонность к плотоядности (чаще – в период размножения). По некоторым данным изредка он может использовать относительно крупные и подвижные наземные объекты, например, *Lacerta vivipara*, *Rana temporaria*, *Triturus sp.* Характерна способность наносить сильные удары клювом.
- В гнездовой период *T.pilaris* одновременно может быть связан с разными биотопами. Являясь обитателем лесной зоны, он не избегает равнинных участков. Использует открытые пространства (опушки, вырубки, поляны, берега водоемов) для сбора корма, иногда на значительном удалении от гнезд, расположенных по периферии сомкнутых древостоев.
- По сравнению с другими видами воробьиных птиц рябинник (вместе с белобровиком) отличается более продолжительным периодом суточной активности, позволяющим дольше и полнее использовать кормовые ресурсы в сезон размножения.
- Неустойчивость метеорологических условий сезона размножения за Полярным кругом (периодическое понижение температуры воздуха, облачность, осадки) и, как следствие, снижение активности и доступности обычных кормовых объектов – различных беспозвоночных, которых птицы обычно добывают на земле, – вынуждает их использовать нетипичные для вида корма в несвойственной обстановке.

Все эти явления, вместе взятые, свидетельствуют о том, что литораль для такого лесного вида как рябинник, может быть весьма выгодным в кормовом отношении участком пространства.

Таким образом, на основании долговременных стационарных наблюдений выявлена изменчивость кормового поведения рябинника, в результате чего установлена возможность использования подвижной добычи, находящейся в воде. При этом дрозды продемонстрировали смену объектов добычи, имеющих совершенно иную экологию, биотопическое распределение, численность и доступность. Переход даже на временное потребление иных кормовых животных требует новых способов охоты, изменения поведения и суточной активности. По-видимому, благодаря такой тактике, рябинник приспособлен полнее использовать кормовые ресурсы территорий, вовсе не пригодных для гнездования (литораль, отмели, открытая вода). В этом отношении его можно рассматривать в качестве одного из универсальных видов. Нереиды для рябинника, по всей видимости, не являются типичным компонентом в питании, даже в ситуациях, отличающихся высокой локальной численностью и возрастающей доступностью. Похоже, что это такой вид корма, который либо ранее не использовался как трофический ресурс, либо добывался время от времени. Однако рябинники при недостатке обычных видов корма, оказывается, способны оптимизировать своё кормление благодаря временному обилию такой пищи, как размножающиеся нереиды.

Помимо этих соображений, можно прогнозировать, что при определенных обстоятельствах подобные повадки, вполне вероятно, могут получить дальнейшее распространение в пределах локальной популяции.

#### Литература

- Баккал С.Н., 1988. О питании и выкармливании птенцов белобровика в Лапландском заповеднике // Орнитология. Вып. 23. С. 94–99.
- Баккал С.Н., 1993. Суточная активность воробьиных птиц в гнездовой период на Европейском Севере // Рус. орнитол. журн. Т.2. Вып.3. С. 269–285.
- Баккал С.Н., 1994. Родительская забота о гнездовых птенцах у белобровика *Turdus iliacus* // Рус. орнитол. журн. Т.3. Вып.2. С.163–192.

- Баккал С.Н., 1995. О трофических отношениях мухоловки-пеструшки *Ficedula hypoleuca* с литоралью Белого моря // Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря. СПб. С. 54–55.
- Баккал С.Н., 1997. О роли двукрылых насекомых в питании птенцов мухоловки-пеструшки *Ficedula hypoleuca* // Рус. орнитол. журн. Экспресс-вып.11. С.3–9.
- Баккал С.Н., 2000. К биологии размножения вертишейки *Jynx torquilla* на юге Мурманской области // Рус. орнитол. журн. Экспресс-вып.100. С.10–21.
- Баккал С.Н., 2006. Случай нападения чёрной лесной жужелицы *Carabus glabratus* на птенцов веснички *Phylloscopus trochilus* // Рус. орнитол. журн. Экспресс-вып.315. С.347–353.
- Бианки В.В., 1967. Кулики, чайки и чистиковые Кандалакшского залива // Тр. Кандалакш. гос. запов. Мурманск. Вып. 6. 364 с.
- Бровкина Е.Т., 1959. Материалы по питанию и лесохозяйственному значению дроздов Московской области // Тр. 3 Прибалт. орнитол. конф. Вильнюс. С.31–40.
- Виноградов М.Ю., 1950. Характер пищевых связей некоторых видов птиц с литоралью Белого моря // Тр. Всесоюз. гидробиол. об-ва. Т. 2. С.103–118.
- Гаранин В.И., 1964. К вопросу о роли земноводных в жизни птиц // Природные ресурсы Волжско-Камского края (животный мир). № 5. М. С.112–126.
- Нейфельдт И.А., 1961. Питание воробьиных птиц в Южной Карелии // Зоологич. журн. Т. 40, № 3. С.416–426.
- Перцов Н.А., 1963. Некоторые данные о питании птиц, населяющих острова Северного архипелага Кандалакшского заповедника // Тр. Кандалакш. гос. запов. Вып.4. Воронеж. С. 29–34.
- Покровская И.В., Герд С.В., 1955. Использование лесными птицами водных беспозвоночных при выкармливании птенцов // Учен. зап. Ленингр. ин-та им. А.И.Герцена. Т.110. С. 93–102.
- Покровская И.В., 1956. Материалы по питанию гнездовых птенцов лесных птиц Ленинградской области // Зоол. журн. Т.35. № 1. С. 96–110.
- Покровская И.В., 1976. Об использовании в пищу водной фауны лесными воробьиными птицами // Биология внутренних вод (информационный бюллетень). Т.32. С. 40–43.
- Прокофьева И.В., 1972. Состав корма и хозяйственное значение дроздовых птиц // Питание, размножение и генетика животных. Л. (Учен. зап. гос. пед. ин-та им.А.И.Герцена. Т. 392). С. 129–148.
- Прокофьева И.В., 1983. К питанию птенцов дерябы и черного дрозда на юге Ленинградской области // Тез. докл. 11-й Прибалт. орнитол. конф. Таллин. С.173–175.
- Прокофьева И.В., 2005. Позвоночные животные в пище насекомоядных птиц // Рус. орнитол. журн. Экспресс-вып.278. С.75–81.
- Резанов А.Г., 2001. Случай воздушной охоты рябинника *Turdus pilaris* // Рус. орнитол. журн. Экспресс-вып.132. С.116–117.
- Хлебович В.В., 1963. К биологии *Nereis virens* Sars в Кандалакшском заливе Белого моря // Тр. Кандалакш. гос. запов. Вып. 4. Воронеж. С. 250–257.
- Шкляревич Г.А., 1979. О роли *Nereis virens* Sars в питании морских птиц Кандалакшского залива Белого моря // Экология. № 2. С. 91–93.
- Шутова Е.В., 1997. Морские беспозвоночные в питании насекомоядных птиц на островах Кандалакшского залива Белого моря // Рус. орнитол. журн. Экспресс-вып. 7. С.13–17.
- Jacquat M.S., Monney J.-C., 1993. Grive draine (*Turdus viscivorus*) capturant on lizard vivipare // Nos Oiseaux. V.42, N 4. P.231.

## ДИНАМИКА НЕКОТОРЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИХТИОФАУНЫ ВОДЛОЗЕРА (КАРЕЛИЯ)

А.В. Барсова<sup>1</sup>, А.А. Бабий<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Национальный парк «Водлозерский», г. Петрозаводск, Россия

<sup>2</sup> СевНИИРХ Петрозаводского государственного университета, г. Петрозаводск  
e-mail: avbars@yandex.ru, ABabiy@research.karelia.ru

Представление организма в истинном свете невозможно без рассмотрения его жизненного цикла (Бигон и др., 1989), который до некоторой степени уникален. Поиск основных типов жизненных циклов требует грамотного и эффективного их описания. Только после этого можно выявлять корре-

ляции между их параметрами и особенностями среды, в которых они протекают. Жизненные циклы – это отраженная реакция организмов на весь комплекс условий, в которых они развивались в настоящем и прошлом. В условиях естественной среды за счет естественного отбора формируются жизненные циклы (ЖЦ), лучше всего приспособленные к разнообразным и часто противоречащим друг другу требованиям окружающей организм среды (Бигон и др., 1989). Для определенных условий обитания организма выгодны и определенные особенности циклов. ЖЦ есть результат взаимодействия генотипа и среды обитания. Тем не менее, ЖЦ никоим образом не является застывшей, независимой от господствующих условий среды, характеристикой. Определенный ЖЦ, которому благоприятствует естественный отбор, зависит от местообитания рассматриваемого организма, следовательно, формируется под решающим воздействием этого местообитания. Местообитание и жизненный цикл каждого организма уникальны. Любая популяция занимает местообитание либо благоприятное, либо нейтральное (или неблагоприятное) в отношении размера, как самого организма, так и его потомства. Жизненный цикл почти всегда меняется в зависимости от обеспеченности разными ресурсами и поэтому, при сравнении ЖЦ наблюдаемые особенности следует связывать не только с различиями местообитаний, но и с уровнем потребления внутри одного местообитания.

Озеро Водлозеро трансформировалось в водохранилище в 1934 г. К сожалению, для ихтиофауны Водлозера, как и др. водоемов Карелии, имеются не очень длинные и полные ряды наблюдений, как за средой обитания рыб, так и за их биологическими характеристиками. Первые биологические материалы относятся к началу 1954 г. Из имеющихся данных, в качестве элемента ЖЦ, выбрана величина средней длины тела (АД, см) у одновозрастных в возрасте полового созревания и модальных по численности групп. При этом для анализа взяты виды разных трофических уровней и ниш, которые в разной степени используются промыслом. Из хищных рыбоядных выбраны судак и щука, из бентофагов – лещ, из планктофагов – ряпушка и сибец, из эврифагов – окунь. Биологические материалы относятся к водохранилищному периоду (1955 – 2008 гг.), т.е. времени относительной стабилизации (1950-е – 1970-е годы) и некоторой перестройки ихтиоценоза (после 1980-х г.) при небольшом потеплении климата (Бабий, Петрова, 1997).

Реакция рыб на динамику условий обитания в Водлозере, отраженная в темпе линейного роста, у видов разных трофических уровней отличалась (рис.1–4). Общим является колебания темпа роста около средней многолетней величины. Относительная амплитуда колебания длины тела была выше у планктофагов (разница между max и min более 15%). У хищных рыб и бентофагов динамика длины тела была более устойчивой и менее всего межгодовые колебания выражены у эврифага – окуня (рис.4).

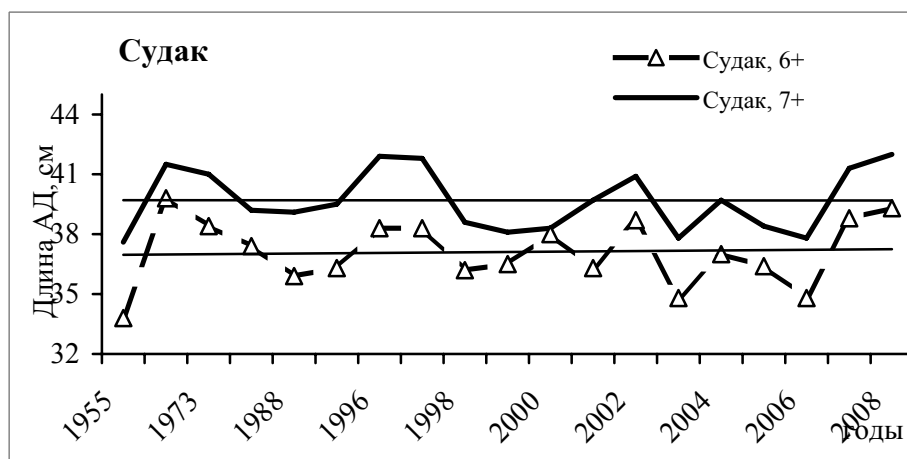


Рис. 1

Важно отметить, что за рассматриваемый период четко наметилась и сохраняется тенденция к некоторому уменьшению размера тела у одновозрастных особей леща (рис.2). Подобную картину в многолетнем плане отметила для леща Рыбинского водохранилища Бражник С.Ю. с соавтор. (2008). Возможная причина тому – продолжительный активный и селективный промысел леща и изъятие быстрорастущих особей из популяции, повышение эффективности нереста

(рост пополнения) на фоне не богатой кормой базы бентофагов. Обращает внимание четкая реакция планктофагов (усиление темпа роста) с конца 90-х годов на более выраженный рост средних температур в районе Водлозера. В меньшей степени подобную реакцию проявили другие виды сообщества. Достаточно устойчив темп роста судака при разных условиях водохранилища, а старшие возрастные особи щуки в 2000-х годах, против 70-х, несколько увеличили свой размер (рис.1).

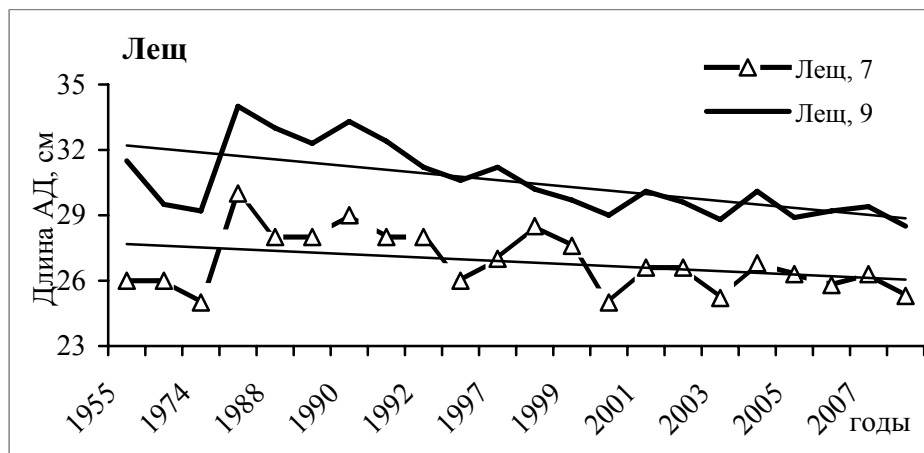


Рис. 2

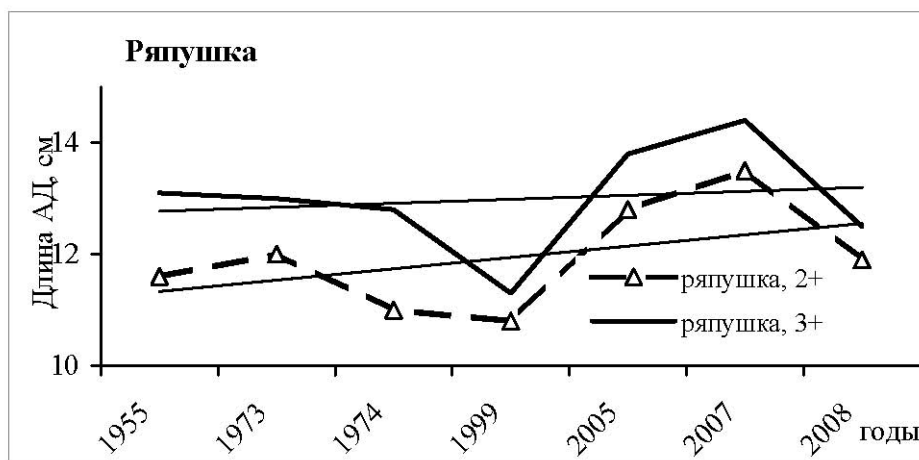
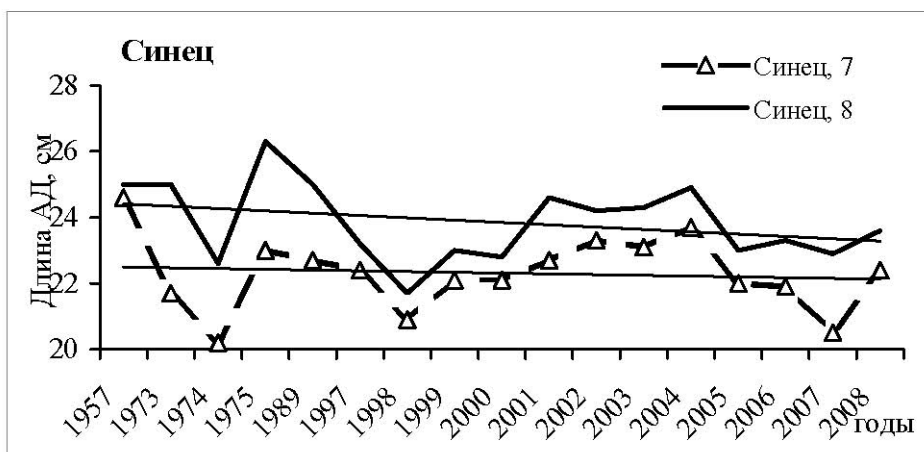


Рис. 3

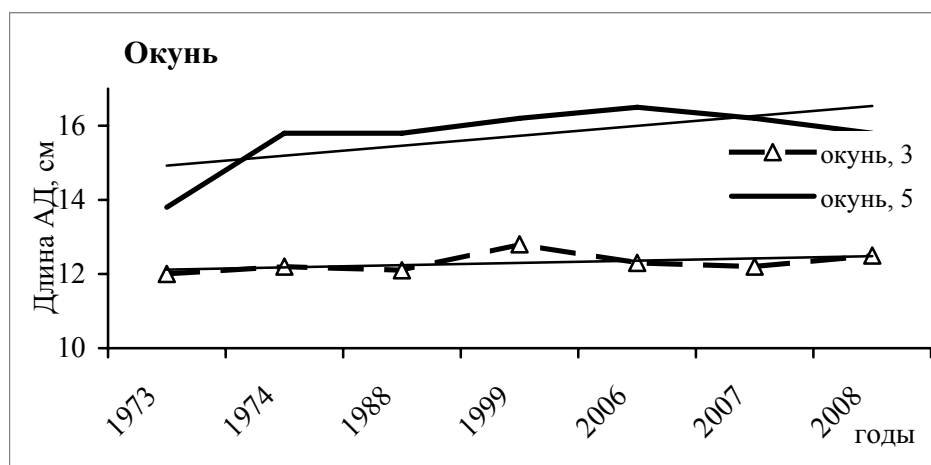


Рис. 4

Из имеющихся ограниченных по временному ряду биологических материалов следует, что реакция организма разных видов рыб на изменения условий обитания специфична, зависит от вида и глубины фактора воздействия. В целом на рассматриваемом временном отрезке такой важный элемент ЖЦ как линейный размер у большинства массовых рыб Водлозера радикально не изменился, его динамика адаптивно колебалась около среднесноголетних величин.

#### Литература

Бабий А.А., Петрова Л.П. 1997. Изменение видовой структуры промысловых уловов рыб Водлозерского водохранилища (Карелия) и их причины// I конгресс Ихтиологов России. Астрахань, 1997. Тез.докл. с.104–105.

Бигон М., Дж.Харпер, Таунсенд К., 1989. Экология. Особи, популяции и сообщества. Т.2. 477 с.

Бражник С.Ю., Стрельников А.С., Пшеничный К.В. 2008. Изменение показателей линейно-веса роста леща *Abramis brama* Рыбинского водохранилища в зависимости от условий существования популяции//Вопросы рыболовства, т.9, №3(35), с.595–607.

#### DYNAMICS OF SOME ELEMENTS LIFE-CYCLE ICHTHYOFUNA VODLOZERA (Karelia)

A.V. Barsova<sup>1</sup>, A.A. Babiy<sup>2</sup>

<sup>1</sup>National park «Vodlozersky», Petrozavodsk, Russia

<sup>2</sup>Northern Fisheries Research Institute (NFRI) – PetrSU, Petrozavodsk

During the period under review (1954 – 2004) clearly identified and the trend to a reduction in the size of the body of oneages bream. Planktofagi increased the rate of growth since the late 90-ies to a marked increase in average temperatures in the area Vodlozera. Enough to resist the growth rate of zander at different reservoir conditions. In general, before the temporary period of such an important element life-cycle as the linear dimension of the most massive fish Vodlozera not radically changed its dynamics adaptively varied around mean values.

#### ВЛИЯНИЕ ПРОТОЧНОГО ОЗЕРА НА СТРУКТУРУ ЗООБЕНТОСА РЕКИ (НА ПРИМЕРЕ оз. КЕДРОЗЕРА, р. ЛИЖМЫ, БАСЕЙНА ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА)

И.А. Барышев<sup>1</sup>, В.И. Кухарев<sup>2</sup>, А.Н. Круглова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Учреждение Российской академии наук Институт биологии Карельского научного центра РАН,  
г. Петрозаводск

<sup>2</sup>Учреждение Российской академии наук Институт водных проблем КарНЦ РАН,  
г. Петрозаводск, Россия

e-mail: baryshev@bio.krc.karelia.ru

#### Введение

На территории Фенноскандии, в т.ч. и Карелии, множество водоемов и водотоков образуют протяженные водные системы с чередованием озерных и речных участков. Влияние проточных



озер на нижерасположенные водотоки проявляется через стабильность гидрологического и температурного режимов, поступление аллохтонных веществ, вынос в реки лимнических видов. В данной работе рассматривается значение озерного зоопланктона в формировании структуры реофильных зообентических сообществ. Известно, что озерный планктон, попадая в реки, потребляется организмами бентоса (зооперифитона) и на таких участках формируются особые сообщества с большой биомассой (Illies, 1956; Хренников, 1978; Hoffsten, 1999). Показано, что в таких случаях состав и обилие речного зообентоса определяется количеством и качеством сестона (Oswood, 1979). Учитывая большое значение озерно-речных экосистем на территории Карелии, представляется актуальной цель нашей работы – исследовать влияние выноса лимнического зоопланктона на состав и количественные характеристики бентоса в вытекающей из озера реке.

### Материалы и методы

Исследование бентоса и зоопланктона проводили 06.08.07 на реке Лижме (бас. Онежского озера). Общая длина реки составляет 68,3 км, коэффициент линейной озерности 47%, общее падение 114 м (Фрейндлинг, 1969). Всего отобрано и обработано 16 проб зообентоса – по 2 на каждой из 8 станций (рис.). На этих же станциях (кроме ст. 2) исследовали количество и состав сносимого планктона (7 проб по 200 л).

Отбор проб проводили по опубликованной методике на участках реки со скоростью течения 0,3–0,5 м/с, глубинами 0,3–0,5 м на каменистых грунтах с преобладанием гальки и мелкого валуна (Методические рекомендации..., 1989).

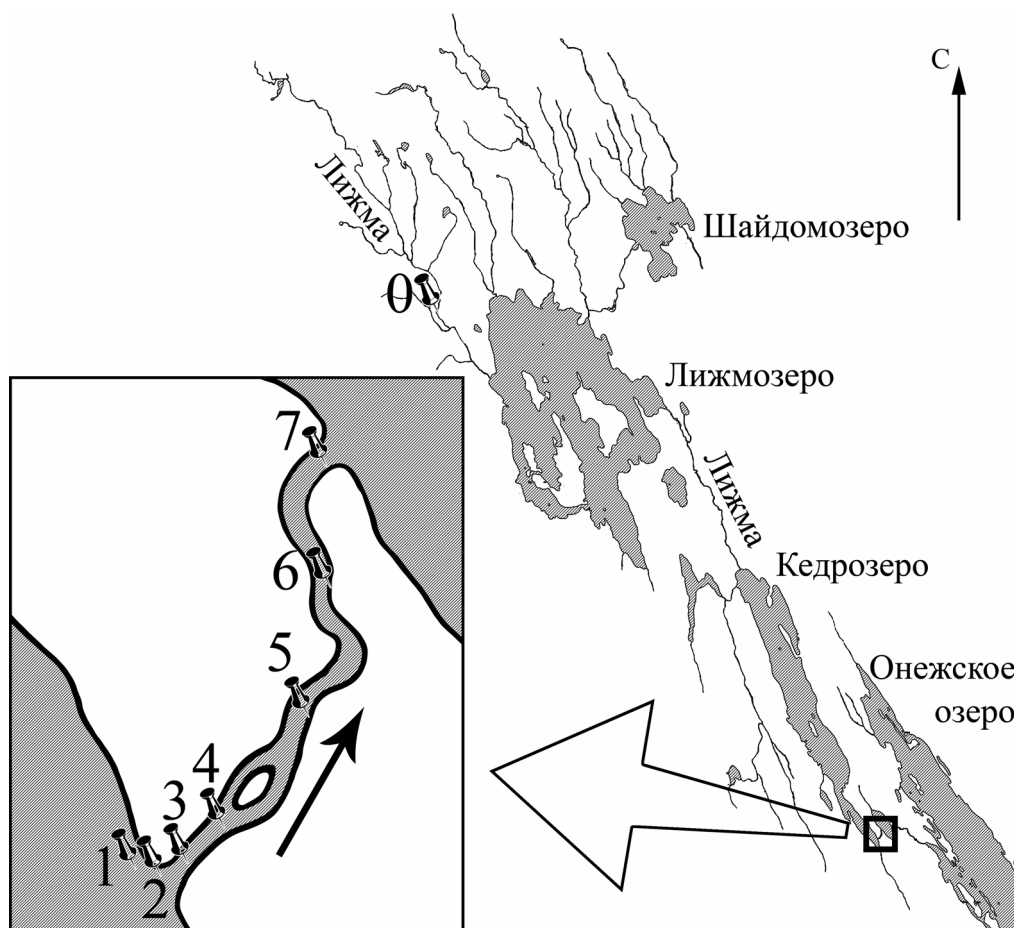


Схема расположения станций отбора проб

Видовое определение проводили по общепринятым руководствам (Определитель пресноводных ..., 1997, 1999, 2001) и зоопланктона (Рылов, 1948; Мануйлова, 1964; Кутикова, 1970; Определитель пресноводных ..., 1994; 1995).

## Результаты исследования

**Зообентос.** В составе зообентоса отмечены следующие организмы: Hydrozoa, Nematoda, Oligochaeta, Hirudinea, Bivalvia (*Pisidium* sp., *Sphaerium* sp.), Gastropoda (*Ancylus fluviatilis*, *Planorbis* sp., *Limnea* sp., *Physa fontinalis*, *Armiger* sp., *Anisus* sp.), Crustacea (*Asellus aquaticus*, Ostracoda), Heteroptera (*Aphelocheirus aestivalis*), Ephemeroptera (*Baetis tracheatus*, *Baetis rhodani*, *Baetis fuscatus*, *Nigrobaetis digitatus*, *Centropilum luteolum*, *Ephemerella ignita*, *Paraleptophlebia submarginata*, *Heptagenia sulphurea*), Plecoptera (*Leuctra fusca*, *Isoperla difformis*, *Isogenus nubecula*), Megaloptera (*Sialis* sp.), Trichoptera (*Hydropsyche pellucidula*, *Hydropsyche siltalai*, *Cheumatopsyche lepida*, *Rhyacophila nubila*, *Neureclipsis bimaculata*, *Polycentropus flavomaculatus*, *Limnephilus* sp., *Ceraclea nigronervosa*, *Stenophylax* sp., *Wormaldia subnigra*), Simuliidae (*Wilhelmia equina*, *Odagmia ornatula*), Coleoptera (*Limnius* sp., *Oulimnius* sp.), Odonata (*Cordulia aeneatufosa*), Diptera (Ceratopogonidae, Chironomidae).

Численность и биомасса зообентоса по исследованным участкам водотока варьировали от 961 экз./м<sup>2</sup> до 126 тыс./экз./м<sup>2</sup> и от 3,9 г/м<sup>2</sup> до 156,3 г/м<sup>2</sup> (табл. 1).

Таблица 1

**Средние численность, экз./м<sup>2</sup> (над чертой) и биомасса, г/м<sup>2</sup> (под чертой) организмов зообентоса**

Группы организмов	Станция							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Hydrozoa	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>25400</u> 2,50	<u>0</u> 0	<u>121562</u> 120,00	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0
Oligochaeta	<u>0</u> 0	<u>125</u> 0,21	<u>250</u> 0,48	<u>0</u> 0	<u>50</u> 0,23	<u>25</u> 0,19	<u>100</u> 0,16	<u>125</u> 1,08
Bivalvia	<u>0</u> 0	<u>50</u> 0,07	<u>175</u> 2,30	<u>12</u> 0,02	<u>0</u> 0	<u>175</u> 0,16	<u>300</u> 0,82	<u>300</u> 1,20
Gastropoda	<u>0</u> 0	<u>37</u> 0,38	<u>137</u> 0,31	<u>0</u> 0	<u>50</u> 0,04	<u>0</u> 0	<u>112</u> 0,08	<u>550</u> 1,08
Ephemeroptera	<u>540</u> 0,55	<u>75</u> 0,12	<u>50</u> 0,08	<u>612</u> 0,71	<u>200</u> 0,46	<u>1150</u> 4,09	<u>137</u> 0,14	<u>475</u> 1,14
Plecoptera	<u>171</u> 0,46	<u>100</u> 0,32	<u>50</u> 0,12	<u>50</u> 0,08	<u>600</u> 1,45	<u>200</u> 0,44	<u>100</u> 0,11	<u>325</u> 0,83
Trichoptera	<u>180</u> 2,70	<u>50</u> 4,64	<u>912</u> 3,70	<u>5262</u> 89,78	<u>2000</u> 23,01	<u>2288</u> 24,52	<u>62</u> 0,72	<u>212,5</u> 1,84
Simuliidae	<u>54</u> 0,11	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>2462</u> 6,08	<u>0</u> 0	<u>200</u> 0,33	<u>62</u> 0,16	<u>62,5</u> 0,12
Chironomidae	<u>81</u> 0,06	<u>362</u> 0,35	<u>1025</u> 0,93	<u>200</u> 0,08	<u>812</u> 0,59	<u>525</u> 0,27	<u>500</u> 0,22	<u>600</u> 0,42
Прочие	<u>45</u> 0,04	<u>162</u> 0,12	<u>37</u> 0,24	<u>37</u> 0,29	<u>987</u> 10,57	<u>324</u> 0,31	<u>237</u> 1,66	<u>350</u> 2,93
Сумма	<u>1071</u> 3,92	<u>961</u> 6,20	<u>28036</u> 10,66	<u>8635</u> 97,04	<u>126261</u> 156,34	<u>4887</u> 30,30	<u>1610</u> 4,05	<u>3000</u> 10,64

Для выявления характеристик бентоса в отсутствии влияния озера нами был обследован порог в верхнем течении реки (ст. 0, см. рис. 1). Численность и биомасса зообентоса здесь невелики. На переходном участке «озеро-река», в литоральной зоне озера (ст. 1), численность организмов донных сообществ сопоставима с таковой на ст. 0, однако биомасса в два раза больше за счет личинок ручейников. Резкое увеличение биомассы зообентических сообществ отмечено с момента существенного возрастания скорости течения при переходе водоема в водоток. Максимальных значений этот показатель достигает на ст. 3 и 4. На ст. 3 при скорости течения 0,7 м/с доминируют личинки сетеплетущего ручейника *Hydropsyche pellucidula*. Общая биомасса составляет здесь 100 г/м<sup>2</sup>. На ст. 4 при скорости течения 0,45 м/с имеет место концентрация гидр; общая биомасса зооценоза достигает 150 г/м<sup>2</sup>. На нижерасположенных станциях происходит постепенное снижение биомассы зооценоза. На расстоянии 600–700 м от истока (ст. 6, 7) биомасса бентоса снижается до значений, близких к выявленным на ст. 0.

Таксономический состав бентоса и доля в нем фильтраторов изменялись по мере удаления от озера. В литоральной зоне озера выявлена большая концентрация зоопланктона, однако в связи с минимальной скоростью течения (около 0,05 м/с) малоподвижные фильтраторы, характерные для бентоса порожистых рек, отсутствуют. По мере увеличения скорости течения закономерно возрастает численность организмов-фильтраторов, способных потреблять сносимый планктон. На началь-

ном этапе перехода в реку уже при скорости 0,05 м/с появляются ловчие сети *Neureclipsis bimaculata*, как на грунте, так и на макрофитах. Численность их невысока, 10–15 экз./м<sup>2</sup>. Ближе к реке, при скорости 0,15 м/с, численность *Neureclipsis bimaculata* увеличивается до 800–850 экз./м<sup>2</sup>, появляются Hydrozoa – до 50 тыс. экз./м<sup>2</sup>. Дальнейшее увеличение скорости потока до (0,5–0,7 м/с) приводит к доминированию фильтрующих личинок ручейников (*Hydropsyche pellucidula*, *Hydropsyche siltalai*) и мошек (*Wilhelmia equina*). По численности эти три вида составляют 57,3%, по биомассе – 85,1% от зообентоса данного участка. На следующих станциях по мере удаления от озера наблюдается постепенное уменьшение роли фильтрующей фауны и возрастание доли собирателей и соскребателей.

**Зоопланктон.** В составе зоопланктона исследованных участков реки выявлено 34 вида ракообразных и коловраток, из которых доминировали *Mesocyclops oithonoides*, *M. leuckarti*, *Kellicottia longispina*. В верхнем течении реки (ст. 0) численность зоопланктона невелика (табл. 2), что обычно для водотоков с низкой озерностью (Смирнов и др., 1978).

Таблица 2

Численность (над чертой, экз./м<sup>3</sup>) и биомасса (под чертой, мг/м<sup>3</sup>) зоопланктона

Группа	Станция						
	0	1	3	4	5	6	7
Коловратки	<u>5</u> 0,02	<u>380</u> 7,27	<u>3470</u> 15,98	<u>975</u> 7,50	<u>885</u> 1,74	<u>5</u> 0,02	<u>75</u> 0,04
Кладоцеры	<u>105</u> 3,69	<u>19085</u> 1598,4	<u>1705</u> 324,0	<u>965</u> 135,6	<u>165</u> 14,50	<u>5</u> 0,08	<u>0</u> 0
Копеподы	<u>25</u> 1,49	<u>2065</u> 23,58	<u>5910</u> 84,83	<u>1055</u> 19,36	<u>245</u> 3,57	<u>5</u> 0,03	<u>0</u> 0
Всего	<u>135</u> 5,2	<u>21530</u> 1629,3	<u>11085</u> 424,8	<u>2995</u> 162,5	<u>1295</u> 19,8	<u>15</u> 0,13	<u>75</u> 0,04

Максимальные численность и биомасса зоопланктона выявлены в озере (ст. 1). На нижерасположенных станциях происходит закономерное снижение этих показателей до очень малых величин (в разы ниже, чем на ст. 0), в первую очередь за счет элиминации ракообразных и коловраток крупных видов, менее устойчивых к условиям водного потока.

### Обсуждение

Наши исследования показали, что по мере протекания водной массы по речному участку количество зоопланктона в ней резко сокращается. Существенное снижение численности озерного планктона в водотоках уже было отмечено в литературе (Georgian, Wallace, 1981; Hoffsten, 1999). Так на малых реках Северной Америки Д.К. Чандлер (Chandler, 1937) отметил уменьшение обилия планктона на 60–70% за 15–20 м. На р. Лижме снижение численности зоопланктона было очень существенным – на расстоянии 70–100 м от озера его количество оказалось сопоставимо с таковым на ст. 0. Ранее было показано, что на этом участке реки летом 1977 г. наблюдалось снижение биомассы зоопланктона от истока из оз. Кедрозера до ст.7 в 6 раз (Круглова, 1981).

Одной из основных причин элиминации зоопланктона является массовое развитие фильтрующей донной фауны при многократном (более чем на порядок) увеличении обилия донных сообществ при переходе озера в реку. Подобное увеличение биомассы бентоса на истоковых из озер участках отмечалось ранее (Illies, 1956; Хренников, 1978, Hoffsten, 1999). Большинство авторов также признают ведущую роль фильтрующих бентосных организмов в снижении количества озерного зоопланктона в водотоке (Chandler, 1937; Spence J.A., Hynes H.B.N., 1971; Hoffsten, 1999). Показано, что происходит не просто выедание зоопланктона, а смена пищевых качеств сестона (Oswood, 1979; Georgian, Wallace, 1981). Так, если в начале водотока в водной толще преобладают живые планктеры, то после 50–100 м основную массу сестона составляет менее ценное с энергетической точки зрения тонкодисперсное органическое вещество и бактерии. Такая смена качества кормового ресурса в значительной степени предопределяет замещение состава фильтрующих организмов в донных сообществах – «гипотеза истощения кормового ресурса» (Richardson, Маскау, 1991). По мере удаления от озера его влияние на обилие донных сообществ уменьшается, однако внесенное в водоток органическое вещество предопределяет облик донных сообществ на протяженном участке реки. Так, в нашем случае, на расстоянии более 700 м от озера (ст.

6, 7) состав зообентоса существенно отличался от того, что был обнаружен в верхнем течении р. Лижмы (ст. 0), несмотря на сходные значения численности и биомассы.

На речном участке выше озер (ст. 0) основной фильтратор – *Wormaldia subnigra*, приспособленный к малому содержанию тонкого сестона в водной толще. Непосредственно ниже озера (ст. 2–4) преобладают личинки ручейников *Hydropsyche pellucidula* и *Neureclipsis bimaculata*, потребляющие озерный зоопланктон и личинки мошки *Wilhelmia equina*, основу рациона которой составляет фитопланктон. Обращает на себя внимание большое количество Hydrozoa на станции 4. Обычно гидры на порогах рек встречаются редко и в небольших количествах. Можно предположить, что после первого порога (ст. 3) течение несет значительное количество поврежденных организмов планктона и их фрагментов, предоставляя гидрам обширную кормовую базу. В нижерасположенном участке реки (ст. 6, 7) из фильтраторов доминируют двустворчатые моллюски *Pisidium* sp., потребляющие мелкодисперсное органическое вещество и бактериопланктон.

Таким образом, по мере удаления от озера происходит не только уменьшение количества фильтрующих организмов, но и закономерная смена их состава. В верхнем течении (ст. 0) река имеет характер небольшого лесного водотока, затененного кронами деревьев. Дно каменистое с зарослями мхов рода *Fontinalis*. В бентосе доминируют *Baetis rhodani*, *Leuctra fusca*, *Wormaldia subnigra*, *Stenophylax* sp., личинки Ceratopogonidae и Chironomidae. По типу питания преобладают соскребатели и фильтраторы. Первичную продукцию в основном образуют водоросли и мхи рода *Fontinalis*, однако существенное количество органического вещества аллохтонно поступает с листовым опадом. Данный участок водотока, таким образом, можно характеризовать как среднее течение реки – ритрон, с элементами верхнего – кренали (Illies, 1961; Vannote et al., 1980).

Для литоральной зоны озера (ст. 1) на начальном этапе перехода в реку выявлена смешанная озерно-речная фауна. По типу питания доминировали собиратели и соскребатели, фильтраторов мало, что очень напоминает структуру донных сообществ лесного водотока. Вместе с тем, причины малочисленности фильтраторов здесь, очевидно, иные, чем на ст. 0. Если в лесной реке плотность фильтраторов лимитирована малым количеством взвешенного органического вещества, сносимого потоком, то на озерной литорали в изобилии присутствует фито- и зоопланктон. Однако очень низкая скорость течения (0,05 м/с) не позволяет эффективно отлавливать его путем пассивной фильтрации. При дальнейшем переходе в реку и увеличении скорости течения до 0,15 м/с (ст. 2) в донных сообществах доминировали фильтраторы, что указывает на то, что при данной скорости течения и количестве зоопланктона его фильтрация становится экологически оправданной. На расположенном ниже по течению участке (ст. 3, скорость течения 0,7 м/с) наблюдалось подавляющее доминирование фильтрующих форм. В отличие от ст. 2, где преобладали фильтраторы медленного течения, здесь многочисленны личинки ручейников сем. Hydropsychidae и личинки мошек, хорошо приспособленные к обитанию в условиях высокой скорости водного потока.

Станции 4 и 5 расположены на некотором (100 и 270 м) расстоянии от истока. Здесь доминировали фильтрующие формы, однако весомое место занимали и собиратели-соскребатели, что объясняется уменьшением количества сносимого потоком зоопланктона (см. табл. 2). Различия в видовом составе бентоса этих участков, очевидно, связаны со скоростью течения. Так, из числа фильтраторов, при меньшей скорости течения (ст. 4) доминируют личинки ручейников *Neureclipsis* (сем. Polycentropodidae) и представители Hydrozoa, при большей (ст. 5) – личинки ручейников сем. Hydropsyche нескольких видов и реофильные *Pisidium* (Bivalvia). Таким образом, истоковый из озера участок реки (ст. 2–5) по составу экологических групп (велика доля фильтраторов) близок к потамали – нижней зоне речного континуума (Illies, 1961; Vannote et al., 1980).

На наиболее удаленном от истока участке (ст. 6 и 7) доля фильтраторов в составе донных сообществ многократно снижается. Здесь преобладали разнообразные собирающие и соскребательные формы – личинки поденок, брюхоногие моллюски, реофильные жуки сем. Elmidae. Это связано с тем, что планктон, выносимый в массу из озера, практически полностью вылавливается зообентосом вышерасположенных участков (см. табл. 2). Из фильтраторов преобладал *Pisidium* – потребитель сестона и бактериопланктона (Цихон-Луканина, 1987). Удаленный от истока участок (ст. 6, 7)

по составу зообентоса, таким образом, должен быть классифицирован как ритрон– река предгорного типа (Illies, 1961).

Концепция речного континуума (Vannote et al., 1980), широко используемая в настоящее время, не описывает подобные участки водотоков с донными сообществами, биомасса которых многократно выше средних по реке значений. Вместе с тем, как было показано, в истоке из озера водоток приобретает черты реки равнинного типа, но ниже по течению происходит восстановление свойств предгорной реки. Происходит трансформация, обратная описанной в концепции речного континуума. Таким образом, в озерно-речных системах на участках ниже озер имеет место обратный речной континуум.

### Выводы

На протяжении исследованного нами участка водотока ниже проточного озера наблюдается практически полное исчезновение озерного зоопланктона из водного потока, происходит закономерная смена состава донного населения от сообществ с тотальным доминированием фильтрующих форм до сообществ с преобладанием собирателей и соскребателей. Очевидно, основной причиной наблюдаемых изменений является динамика количества зоопланктона и тонкого органического вещества в водном потоке. Проточное озеро придает водотоку черты реки равнинного типа, однако ниже по течению происходит восстановление свойств предгорного потока – трансформация, которую можно считать обратным речным континуумом.

### Литература

- Круглова А.Н. 1981. Значение озерного зоопланктона в формировании кормовой базы озерно-речной системы р. Лижма (бассейн Онежского озера). Гидробиологический журнал. № 17, Т. 1. С. 28–33.
- Кутикова Л.А. 1970. Коловратки фауны СССР (Rotatoria). Л., Наука. 742 с.
- Мануйлова Е.Ф. 1964. Ветвистоусые рачки (Cladocera) фауны СССР. М.-Л., Наука. 326 с.
- Методические рекомендации по изучению гидробиологического режима малых рек. 1989. Петрозаводск: Ин-т биол. КНЦ АН СССР, 42 с.
- Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. 1994. Т. 1. Низшие беспозвоночные. СПб., Зоол. ин-т РАН. 394 с. 1995. Т. 2. Ракообразные. СПб., Зоол. ин-т РАН. 627 с. 1997. Т. 3. Паукообразные и низшие насекомые. СПб., Зоол. ин-т РАН. 440 с. 1999. Т. 4. Высшие насекомые. Двукрылые. СПб. Зоол. ин-т РАН. 1000 с. 2001. Т. 5. Высшие насекомые (ручейники, чешуекрылые, жесткокрылые, сетчатокрылые, большескрылые, перепончатокрылые). СПб., Наука. 836 с.
- Рылов В.М. 1948. Фауна СССР. Ракообразные. Т. 3. Вып. 3. М.-Л., Изд-во АН СССР. 318 с.
- Смирнов Ю.А., Комулайнен С.Ф., Круглова А.Н., Хренников В.В., Шустов Ю.А. 1978. Лососевые нерестовые реки Онежского озера. Биологический режим, использование. Л., «Наука», 102 с.
- Фрейндлинг В.А. 1969. Гидрография водоемов бассейна Р. Лижмы // Вопросы гидрологии, озероведения и водного хозяйства Карелии. Петрозаводск. Карельское книжное издательство. С. 236–245.
- Цихон-Луканина Е.А. 1987. Трофология водных моллюсков. М.: Наука, 174 с.
- Chandler David C. 1937. Fate of typical lake plankton in streams // Ecological monographs. Vol. 7. № 4. P. 447–479.
- Georgian, T. J. Jr., Wallace, J. B. 1981. A model of seston capture by net-spinning caddisflies // Oikos. Vol. 36. P. 147–157.
- Hoffsten P. 1999. Distribution of filter-feeding caddisflies (Trichoptera) and plankton drift in a Swedish lake-outlet stream // Aquatic Ecology. Vol. 33, N. 4. P. 377–386.
- Illies J. 1956. Seeausfluss-Biozönosen lappländischer Waldbäche // Entomol Tidskr. Vol. 77. P. 138–153.
- Illies J. 1961. Versuch einer allgemeinen biozonotischen Gliederang der Fließgewässer // Int. Revue Ges. Hydrobiol. B. 46. №2. S. 205–213.
- Oswood Mark W. 1979. Abundance patterns of filter-feeding Caddisflies (Trichoptera: Hydropsychidae) and seston in a Montana (U.S.A.) lake outlet // Hydrobiologia. Vol. 63, N. 2. P. 177–183.
- Richardson J.S., Mackay R.J. 1991. Lake outlets and the distribution of filter feeders: an assessment of hypotheses. Oikos Vol. 62. 370–380.
- Spence J.A., Hynes H.B.N. 1971. Differences in benthos upstream and downstream of an impoundment. J. Fish Res. Bd. Canada. V. 37. № 1. P. 35–43.
- Vannote R.L., Minshall G.W., Cummins K.W., Sedell I.R., Cushing C.E., 1980. The river continuum concept // Can. J. Fish. Aquat. Sci. V. 37. № 1. P. 130–137.

## FLOWING LAKE IMPACT ON RIVER ZOOBENTHOS STRUCTURE (LAKE KEDROZERO, RIVER LIZHMA, ONEGA LAKE BASIN)

I.A. Baryshev<sup>1</sup>, V.I. Kucharev<sup>2</sup>, A.N. Kruglova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Biology KarRC RAS, Petrozavodsk, Russia

<sup>2</sup> Northern Water Problems Institute KarRC RAS, Petrozavodsk

E-mail: baryshev@bio.krc.karelia.ru

Influence of receipt of a lake zooplankton on benthos structure and quantity in the river following from lake has been investigated. In the river below lake gradual zooplankton reduction that causes changes of communities of bottom invertebrates was noticed. The benthos structure gradually changes from communities of filtration organisms (close to lake) to collectors and grazers on removal from lake. The flowing lake transforms river communities to have the appearance of large river communities. However more low on a current there is a restoration of medium-size river properties – transformation as which it is possible to consider as a reverse river continuum.

## ВОЗМОЖНОСТЬ ЗАВИСИМОСТИ ВАРЬИРОВАНИИ СЕРДЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ *MYTILUS EDULIS* L. И *MODIOLUS MODIOLUS* L. ОТ ФЛУКТУАЦИЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

И.Н. Бахмет<sup>1</sup>, Р.Э. Здоровенов<sup>1</sup>, И.М. Примаков<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Учреждение Российской академии наук Институт биологии Карельского научного центра РАН,

г. Петрозаводск, Россия

<sup>2</sup> Учреждение Российской академии наук Институт зоологии РАН ББС «Картеш», г. Санкт-Петербург, Россия

e-mail: igor.bakhmet@gmail.com

### Введение

Экзогенная поведенческая активность морских организмов периодически изменяется, что связано, в основном, с отливно-приливным ритмом и освещенностью (Saigusa, 1988; De Vries et al. 1994; Oishi and Saigusa 1999). При исследовании данных компонентов поведения животных используются самые различные методики и показатели. Одним из таких показателей, хорошо себя зарекомендовавших в последнее время, является сердечная активность. В долговременных экспериментах, использовавших сердечную ритмику в качестве функции организма в литоральной зоне, было показано наличие циркадных и отливно-приливных осцилляций работы сердца у крабов и мизид (Aagaard et al. 1996). В то же время, попытки найти подобные ритмики у мидии не увенчались успехом (Trueman and Lowe 1971; Curtis et al. 2000; Bakhmet and Khalaman 2006). Авторы объясняли отсутствие связи тем, что частота сердечных сокращений (ЧСС) мидий представляет собой достаточно стохастический процесс. Следует все же подчеркнуть, что данные работы выполнялись в лабораторных условиях, в которых невозможно полностью воссоздать природную среду. Мы предполагаем, что содержание моллюсков в аквариумах могло привести к утрате ритмики физиологических процессов. Для проверки этой гипотезы мы провели долговременную полевую регистрацию сердечной активности двустворчатых моллюсков *Mytilus edulis* L. и *Modiolus modiolus* L. Второй вид был выбран для сравнительного анализа, поскольку модиолус обитает глубже мидии и, соответственно, меньше подвержен влиянию внешних факторов.

Поскольку эксперимент проводился впервые, мы выбрали зимнее время для упрощения анализа. Температура и соленость в Белом море с декабря по апрель держатся стабильно на одном уровне: -1°C и 25 ‰, соответственно. В то же время, животные подвержены влиянию отливно-приливных течений, что гипотетически должно найти отражение в сердечной активности.

### Материалы и методы

Работа была выполнена в июле 2008 года на Беломорской биологической станции «Картеш» им. О.А. Скарлато Зоологического института РАН. Мидии собирались в бухте Круглой Чупинской губы Кандалакшского залива Белого моря с установок для культивирования моллюсков (глубина 2 м) при температуре воды -1°C. Модиолусы извлекались со дна бухты Лево́й при помощи водозов. При этом мидии не отрывались от субстрата. После поднятия каната, с прикрепленными к нему

животными, к раковинам моллюсков приклеивались инфракрасные датчики. Далее канат опускался обратно в море таким образом, что животные находились на глубине около 2 метров. Модиолусы же, после приклеивания датчиков опускались на дно на глубину около 8 метров.

Запись сердечного ритма осуществлялась при помощи методики дистантной регистрации изменения объема сердечной мышцы (плетизмограмма), основанной на излучении инфракрасного света в область расположения сердца и приема измененных отраженных лучей. Были использованы оптические сенсоры CNY-70. С помощью специально разработанного усилителя с системой фильтров и портативного цифрового осциллографа Fluke 125 сигнал передавался на персональный компьютер, где записывался в виде последовательных волн сердечных сокращений и обрабатывался при помощи программы FlukeView 3.0 (De Pirro et al., 1999; Santini et al., 2000). При расчете ЧСС получали время, за которое происходило одно сокращение сердца. Затем вычисляли количество сокращений, которое происходило в одну минуту. Показания амплитуды сигнала нормировали путем выбора первого значения каждого отдельного животного как 100 % с расчетом последующих показателей по отношению к первому.

Регистрацию сердечной активности моллюсков осуществляли сразу после опускания субстрата в водную среду каждые 30 минут в течение 4 суток. Всего в эксперименте было использовано 12 мидий и 8 модиолусов.

Для выявления периодических составляющих частоты сердечных сокращений (ЧСС) и амплитуды сигнала, полученные ряды данных подвергали анализу при помощи быстрого Фурье-преобразования (БФП). Кроме того, для определения возникновения осцилляций в реальном времени был применен Вейвлет-анализ.

Температура водной среды отслеживалась по показаниям термологгеров DS9490, помещенных среди мидий. Соленость измерялась при помощи рефрактометра.

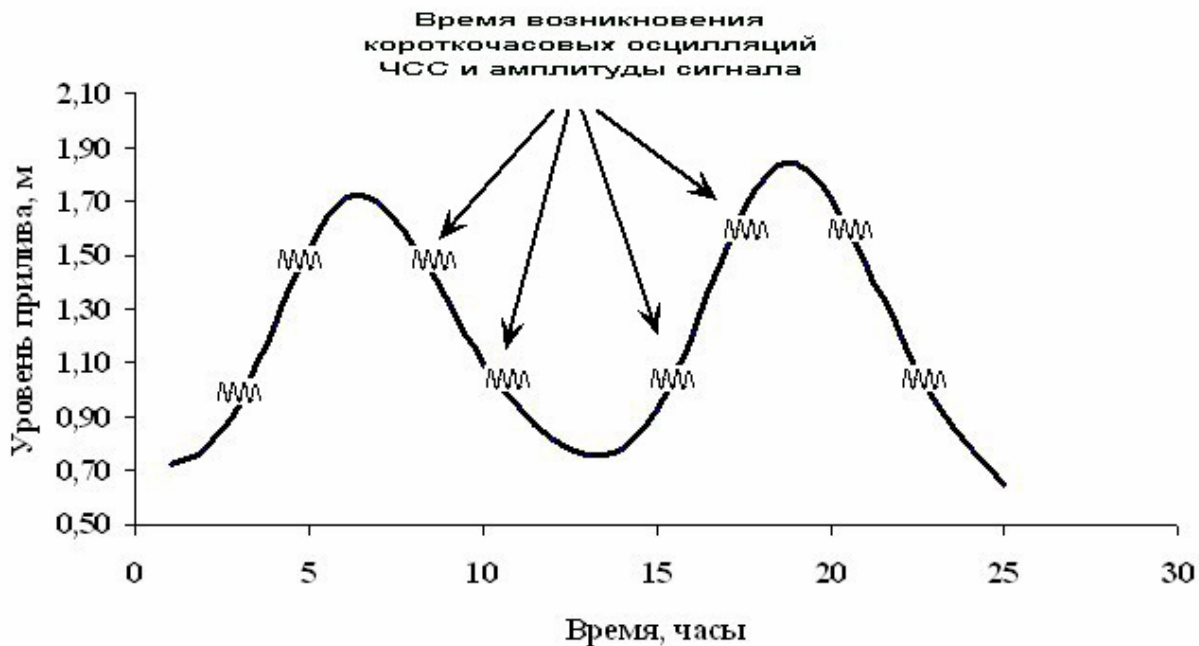
После окончания регистрации животные были измерены и взвешены. Измерялись длина, ширина и высота раковины. Получали сырой вес мидий без раковины.

### **Результаты и обсуждение**

Средние показатели сердечной активности мидии были достоверно выше ЧСС и амплитуды сигнала у модиолуса ( $5.26 \pm 0.78$  versus  $3.49 \pm 1.01$  и  $1.77 \pm 0.33$  versus  $0.86 \pm 0.22$ , соответственно). Эти различия находятся в соответствии с уровнем метаболизма и скоростью роста, которые также намного выше у мидий (Anwar et al. 1990; Navarro and Thompson 1996). Заметим, что уровень сердечной активности у животных, как указано выше, находился на достаточно высоком уровне, не смотря на низкую температуру. Это может свидетельствовать об адаптации моллюсков к суровым условиям Белого моря. К примеру, ЧСС мидий Калифорнийского побережья падала до нуля при температурах  $1-3^{\circ}\text{C}$  (Hoffman, Somero, 2006). В нашем эксперименте прекращение сокращений сердца не было отмечено ни у одного животного.

ЧСС и амплитуда сигнала нестационарны и, соответственно, некоторые характеристики показателей невозможно определить без применения методов анализа временных рядов. При помощи БФП частот сердечных сокращений и амплитуд сигналов были выявлены три группы осцилляций: с длинной волны от 3 до 6, от 9 до 15 и от 18 до 24 часов. Вейвлет-анализ показал наличие аналогичных осцилляций. В то же время, благодаря возможности отслеживания возникновения периодических составляющих во времени, было показано, что коротко-часовые осцилляции связаны с отливно-приливным ритмом (Рис.). Как видно на рисунке, периодики возникают за 1–1,5 часа до верхней точки прилива и через такой же временной интервал после нее. Такая же картина наблюдалась и в отношении нижней точки отлива. Добавим, что данные осцилляции ЧСС совпадали по времени возникновения с осцилляциями амплитуды сигнала.

Очевидно, что биоритмы беспозвоночных являются результатом ответа организма на изменения окружающей среды таких, как течения, освещение и др. (De Vries et al. 1994). В нашем случае изменения в окружающей среде происходили только с отливно-приливыми течениями, которые изменялись от нуля в верхней и нижней точках прилива до 12–15 см/сек между крайними точками. За 1–1,5 часа до и после верхних и нижних точек приливной волны скорость течения составляла 6–8 см/сек. (Babkov 1982). Таким образом, можно предположить, что именно эти скорости потока морской воды являются наиболее оптимальными для моллюсков. Это предположение основано на том, что только в эти моменты осцилляции ЧСС и амплитуды сигнала проявлялись одновременно, что не было обнаружено для средне- и долгорасовых осцилляций.



Схематическое изображение возникновения коротковременных осцилляций ЧСС и амплитуды во время отливно-приливной волны.

Отсутствие связи средне- и долговременных осцилляций с отливно-приливно-циркадным ритмом в нашем исследовании пока не находят объяснения. Необходим дальнейший анализ и дополнительные эксперименты, чтобы ответить на этот вопрос.

В заключение хотелось бы поблагодарить сотрудников ББС ЗИН РАН «Картеш» за неоценимую помощь в сборе материала и постановке экспериментов.

#### Литература

- Бабков А. И., 1982. Краткая гидрологическая характеристика губы Чупа, Белое море / В: Экологические исследования возможных объектов фауны Белого моря для марикультуры. Ленинград. С. 1–16.
- Aagaard A., 1996. In situ variation in heart rate of the shore crab *Carcinus maenas* in relation to environmental factors and physiological condition // Mar. Biol. Vol. 125. P. 765–772.
- Anwar N.A., Richardson C.A., Seed R., 1990. Age determination, growth rate and population structure of the horse mussel *Modiolus modiolus* // J. Mar. Biol. Ass. UK. Vol. 70. P. 441–457.
- Bakhmet I.N., Khalaman V.V., 2006. Heart rate variation patterns in some representatives of Bivalvia // Biol. Bull. Vol. 33. P. 276–280.
- Curtis T.M., Williamson R., Depledge M.H., 2000. Simultaneous, long-term monitoring of valve and cardiac activity in the blue mussel *Mytilus edulis* exposed to copper // Mar. Biol. Vol. 136. P. 0837–0846.
- De Pirro M., Santini G., Chelazzi G., 1999. Cardiac responses to salinity variations in two differently zoned Mediterranean limpets // J. Comp. Physiol. B. Vol. 169. P. 501–506.
- De Vries M.C., Tankersley R.A., Forward R.B., Kirby-Smith W.W., Leutich R.A., 1994. Abundance of estuarine crab larvae is associated with tidal hydrologic variables // Mar. Biol. Vol. 118. P. 403–413.
- Hofmann G., Somero G., 1995. Evidence for protein damage at environmental temperatures: seasonal changes in levels of ubiquitin conjugates and hsp70 in the intertidal mussel *Mytilus trossulus* // Exp. Biol. Vol. 198. P. 1509–1518.
- Navarro J.M., Thompson R.J., 1996. Physiological energetics of the horse mussel *Modiolus modiolus* in a cold ocean environment // Mar. Ecol. Prog. Ser. Vol. 138. P. 135–148.
- Oishi K., Saigusa M., 1999. Rhythmic patterns of abundance in small sublittoral crustaceans: variety in the synchrony with day/night and tidal cycles // Mar. Biol. Vol. 133. P. 237–247.
- Saigusa M., 1988. Entrainment of tidal and semilunar rhythms by artificial moonlight cycles // Biol. Bull. Mar. Biol. Lab. Woods Hole. Vol. 174. P. 126–138.
- Santini G., Williams G.A., Chelazzi G., 2000. Assessment of factors affecting heart rate of the limpet *Patella vulgata* on the natural shore // Mar. Biol. Vol. 137. P. 291–296.
- Trueman E.R., Lowe G.A., 1971. The effect of temperature and littoral exposure on the heart rate of a bivalve mollusc, *Isognomon alatus*, in tropical conditions // J. Comp. Biochem. Physiol. A. Vol. 38. P. 555–564.



# ПРОДУКЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФИТОПЛАНКТОНА БЕЛОГО МОРЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИСТОЧНИКА АЗОТА

Т.А. Белевич

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, г. Москва, Россия  
e-mail: 3438083@list.ru

В природных экосистемах обеспеченность фитопланктона минеральными и органическими ресурсами, а также световые условия меняются как во времени, так и в пространстве. В Белом море, как и в других морях умеренных и высоких широт весеннее развитие фитопланктона ведет к практически полному исчерпанию нитратного азота в фотическом слое (Максимова, 1991; Ильяш и др., 2003). Последующая деструкция биомассы, накопленной при весеннем «цветении» и выделение органического азота зоопланктоном ведет к увеличению концентрации органического азота и аммония. Соответственно, доля восстановленных форм азота в суммарном содержании растворенного азота увеличивается (Максимова, 1991; Ильяш и др., 2003). При этом в поверхностном слое фитопланктон испытывает стресс фотингибирования, на промежуточных глубинах фотической зоны освещенность близка к насыщающему фотосинтез уровню, на нижней границе фотической зоны освещенность лимитирует фотосинтез (Falkowski, Raven, 1997). В летний период при низкой концентрации минеральных ресурсов в ряде случаев наблюдается интенсивное развитие фитопланктона. Как это показано для Белого моря (Ильяш и др., 2003), в основном это миксотрофные водоросли. Увеличение биомассы фитопланктона при низкой обеспеченности нитратами связывают со способностью многих популяций водорослей использовать органические формы азота (Ильяш и др., 2003; Antia et al., 1991; Berman, Bronk, 2003). Увеличение относительной доли органического азота в пуле растворенного азота ведет к изменению структуры фитопланктона (Berg et al., 2003; Запара и др., 2007). На примере фитопланктона Белого моря показано, что ассимиляция водорослями разных азот содержащих субстратов (мочевина, глицина, нитратов, аммония) вела к формированию различающихся по структуре сообществ (Запара и др., 2007).

Ранее на смешанных культурах было выявлено, что динамика биомассы водорослей видоспецифично зависит не только от источника азота, но и от уровня освещенности (Ильяш, Запара, 2006). Последнее, с учетом различающихся энергетических и субстратных затрат водорослей при ассимиляции восстановленных и окисленной форм азота (Nurpe, Turpin, 1994), дает основание ожидать, что продукционные характеристики и природного фитопланктона будут зависеть от источника азота и освещенности.

В настоящем исследовании проведен сравнительный анализ динамики биомассы и продукционных характеристик экспериментальных сообществ фитопланктона Белого моря при ассимиляции нитратов, аммония, глицина и мочевины при двух уровнях освещенности.

## Материал и методы

Эксперименты проводили на Беломорской биологической станции Московского государственного университета (Карельский берег Канда拉克шского залива Белого моря) с 23 августа по 10 сентября 2007 г. В позднелетний период фитопланктон Белого моря лимитирован недостатком азота (Максимова, 1991; Ильяш и др., 2003). Согласно многолетним наблюдениям, концентрация минерального азота в Канда拉克шском заливе в этот период не превышает 3 мкмоль/л (Максимова, 1991).

**Схема эксперимента.** Фитопланктон, служивший исходным материалом для экспериментов, отбирали с помощью сети из планктонного газа № 78 в слое 2–5 м. Для устранения пресса выедания растительным зоопланктоном фитопланктон пропускали через планктонный газ № 40. В 1,5 литровые пластиковые ёмкости добавляли отфильтрованную морскую воду, концентрированный фитопланктон (посевной титр – 1150 кл/мл, 2940 мкгС/л), а так же все биогенные элементы, за исключением азота, согласно прописи среды f/2 (Guillard, Ryther, 1962). Азот вносили в виде мочевины, глицина, нитратов или аммония в концентрации 180 мкмоль азота/л. Соотношение содержания азота и фосфора в среде равнялось пяти, что согласно общепринятым

взглядам (Ryther, Dunstan, 1971), обуславливает ограничение развития водорослей недостатком азота. В качестве контроля использовали фитопланктон без добавок азота. Экспериментальные емкости экспонировали *in situ* на плотиках на глубине 1 м. Полуденная освещенность на этой глубине (E1) колебалась в пределах 25 – 1050 мкЕ/(м<sup>2</sup> сек). Более низкую освещенность (E2), составлявшую в среднем 51 % от E1, создавали путём экранирования склянок тканью средней плотности.

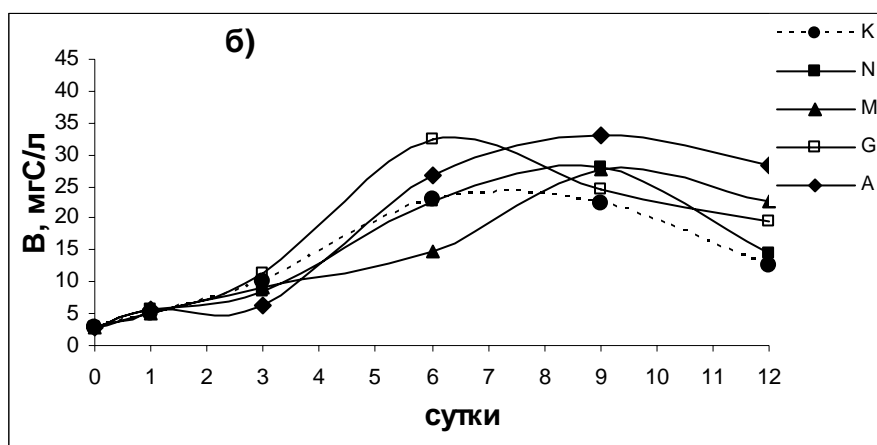
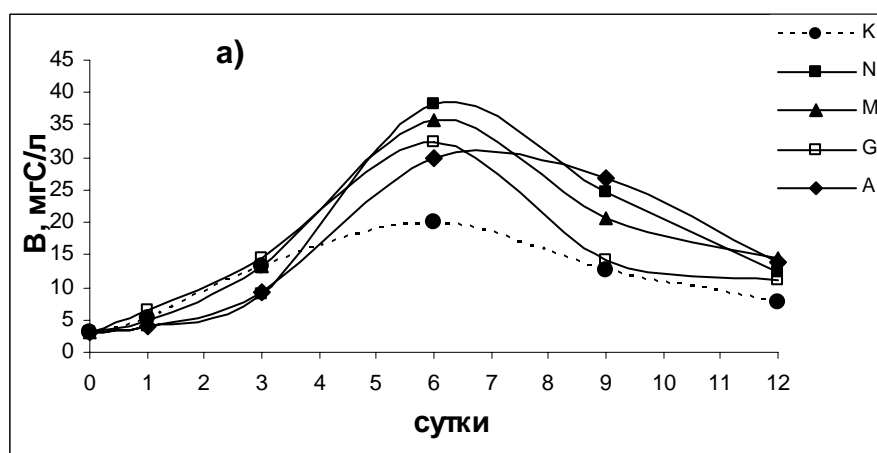
Все варианты эксперимента проводили в трёх повторностях. При дальнейшем изложении сообщества, росшие с использованием разных источников азота, обозначены следующим образом: сообщество, ассимилирующее нитраты – N, глицин – G, мочевины – M, аммоний – A. Контрольное сообщество (без добавок азота) обозначено как K.

**Оцениваемые параметры.** Раз в трое суток из каждой емкости проводили отбор проб объёмом 20 мл и фиксировали их раствором Люголя. Отобранные пробы, представляющие повторности для каждого варианта добавки и контроля (по три пробы), сливали и микроскопическому анализу подвергали интегральную пробу. Численность водорослей (Nn) определяли методом прямого счета в камере Нахотта (объёмом 0.05 мл). Число просчитанных клеток превышало 3000. При этом ожидаемая относительная ошибка измерений оказывается в пределах 5–10% (Федоров, 1979). По методу геометрического подобия определяли объёмы клеток (Hillebrand et al., 1999). Для оценки величин биомассы в единицах углерода клеточное содержание органического углерода в зависимости от объёма клеток рассчитывали по аллометрическим уравнениям (Menden-Deuer, Lessard, 2000). Фотосинтетическое выделение кислорода оценивали скляночным методом в кислородной модификации (Винберг, 1960). Продукционные склянки инкубировали на плотиках на глубине 1 м. Склянки с фитопланктоном, росшим при освещенности E2, экранировали тканью средней плотности. Время экспозиции составляло 4 ч, объём экспонируемых проб – 30 мл. Концентрацию кислорода измеряли с помощью оксимера Ох1 330. По величинам фотосинтетического выделения кислорода согласно балансовому уравнению фотосинтеза (Винберг, 1960) рассчитывали фотосинтетическую фиксацию углерода.

### Результаты и обсуждение

В составе экспериментальных сообществ фитопланктона отмечено 55 таксономических единиц, относящихся к Bacillariophyceae и Dinophyta. Диатомовые водоросли составили 87% от общего числа видов. В исходном сообществе доминировала водоросль *Ditylum brightwellii*. Ее вклад в суммарную численность составил 32%, а вклад в суммарную биомассу достигал 76%.

В контрольных сообществах (без добавок азота) биомасса фитопланктона увеличивалась до 6 сут эксперимента (рис.). Рост водорослей, по-видимому, происходил за счет внутриклеточных запасов азота. Доминирование *D.brightwellii* сохранялось на протяжении всего эксперимента. На 6 сут, когда суммарная биомасса в контрольных сообществах достигала максимума, вклад *D.brightwellii* в суммарную биомассу составлял 96% при обеих освещенностях. Величина накопленной биомассы (V<sub>max</sub>) была выше при более низкой освещенности (рис.). Это свидетельствует о том, что при E1 лимитированные по азоту водоросли, и прежде всего доминирующая в сообществе водоросль *D.brightwellii*, испытывали стресс фотоингибирования. Это также подтверждается более низкими значениями удельной фотосинтетической фиксации углерода (P/B-коэффициента) контрольных сообществ при E1, чем при E2. (табл.). При воздействии ингибирующей интенсивности света часть клеточного вещества и энергии водорослей затрачивается на восстановление фотоиндуцируемых повреждений фотосинтетического аппарата (Falkowski, Raven, 1997), а также на более интенсивный синтез светозащитных пигментов (Ben-Amotz et al., 1989), что снижает количество вещества и энергии, направляемых на рост. При увеличении биомассы водорослей в контрольных сообществах степень их лимитирования недостатком азота возрастает. По мере увеличения степени азотного дефицита у водорослей чувствительность к фотоингибированию повышается (Kolber et al., 1988), а способность к фотоакклимации снижается (Herzig, Falkowski, 1989).



Динамика биомассы фитопланктона (В) в присутствии добавок нитратов (N), глицина (G), мочевины (M), аммония (A) и без добавок (K) при освещенности E1 (а) и E2 (б).

**Динамика удельной фотосинтетической фиксации углерода ( $P/V$ ,  $10^{-2}$  сут $^{-1}$ ) у водорослей, росших с добавками нитратов (N), мочевины (M), глицина (G), аммония (A) и без добавок азота (K) при освещенности E<sub>1</sub> и E<sub>2</sub>.**

Сутки роста	Освещенность									
	E1					E2				
	Добавки					Добавки				
	K	N	M	G	A	K	N	M	G	A
1	9,3	4,5	11,9	11,9	4,7	13,1	8,2	10,3	13,6	10,1
3	2,2	12,5	6,1	5,5	7,0	9,2	8,0	9,5	7,9	6,0
6	4,2	5,1	6,7	9,5	6,6	6,4	7,6	11,6	9,9	2,9
9	4,3	4,2	1,3	3,5	5,8	5,0	6,1	7,9	10,4	5,2

После внесения добавок азота во всех сообществах наблюдалось увеличение суммарной биомассы водорослей, превосходящее таковое в контроле (рис.). Величина накопленной биомассы фитопланктона зависела от источника азота и уровня освещенности. В сообществах N и M, величина  $V_{max}$  была выше при E1, в сообществе A – при E2, а сообществе G величины  $V_{max}$  существенно не различались. Это свидетельствует о том, что для водорослей, обеспеченных азотом нитратов и мочевины, освещенность E<sub>2</sub> являлась лимитирующей. При ассимиляции нитратов на их восстановление используется часть восстановителя и АТФ, образованных в световых реакциях фотосинтеза (Falkowski, Raven, 1997). Потребление мочевины идет за счет активного транспорта (Williams, Hodson, 1977) с использованием в качестве основного источника энергии фотогенерированной АТФ (Rees, Syrett, 1979). Потребность при ассимиляции нитратов и мочевины в продуктах световых ре-

акций фотосинтеза и обусловило более высокие значения  $V_{\max}$  при лучшей обеспеченности световой энергией. Величина  $V_{\max}$  сообщества N была выше, чем в сообществе M. По-видимому, суммарные энергетические затраты водорослей на активный транспорт и последующую внутриклеточную трансформацию мочевины оказались выше затрат на восстановление азота нитратов. Хотя отмечено, что некоторые виды водорослей при использовании в качестве источника азота мочевины растут с большей скоростью, чем при использовании нитратов (Antia et al., 1991).

При акклимации к лимитирующей освещенности эффективность фотосинтетической фиксации углерода уменьшается, и фотосинтез на единицу хлорофилла (или на единицу компонента электронного транспорта) снижается (Sukenic et al., 1990; Falkowski, Raven, 1997). Снижение удельной фотосинтетической фиксации углерода может быть компенсировано за счет углерода, входящего в состав ассимилируемых органических субстратов и, в частности, глицина и мочевины (Antia et al., 1991; Mulholland et al., 2003). Преимущество покрытия потребностей не только в азоте, но и в углероде при лимитирующей освещенности за счет использования одного субстрата не проявилось ни при использовании глицина (величины  $V_{\max}$  при E1 и E2 существенно не различались), ни при росте с мочевиной ( $V_{\max}$  выше при E1).

При лимитирующей освещенности можно ожидать более эффективный рост фитопланктона с использованием восстановленного азота аммония по сравнению с ростом за счет потребления нитратов. При ассимиляции нитратов на их восстановление используется часть восстановителя и АТФ, образованных в световых реакциях фотосинтеза (Falkowski, Raven, 1997). Это ведет к уменьшению количества восстановителя и энергии, доступных для использования при фиксации углерода, что обуславливает меньшую скорость роста водорослей при ассимиляции нитратов, по сравнению с таковой при использовании восстановленного азота аммония (Hurre, Turpin, 1994). Преимущество роста с использованием восстановленного аммонийного азота при лимитирующей освещенности обусловило более высокую биомассу, накопленную сообществом A по сравнению с  $V_{\max}$  в сообществе N.

Динамика удельной фотосинтетической активности водорослей зависела от формы азота и освещенности (табл. 1). В первые сутки роста, когда идет интенсивное потребление добавок, наибольшие величины P/V отмечены при E1 в сообществах M и G, а при E2 – в сообществе G. На третьи сутки, когда потребление азота, по-видимому, закончилось (в силу небольшой концентрации добавок), наибольшие значения P/V достигались в сообществах N при E1 и M при E2. В период достижения  $V_{\max}$  (6 сут при E1 и 9 сут при E2) наибольшие значения P/V отмечались в сообществах G. Сопоставление величин удельной фотосинтетической активности водорослей, ассимилирующих ту или иную добавку при двух уровнях освещенности (табл. 1), показывает, что в период активного роста P/V выше при E2, чем при E1 в сообществах, росших с использованием глицина, мочевины (кроме первых сут) и нитратов (кроме третьих суток). Напротив, в сообществах, росших с использованием аммония P/V выше при E1, чем при E2 за исключением первых суток.

Таким образом, результаты обогатительных экспериментов показали, что динамика биомассы и продукционных характеристик фитопланктона зависит от источника азота и освещенности. Это, по-видимому, обусловлено различающимися энергетическими затратами на ассимиляцию восстановленных и окисленной формы азота, а также тем, что разные формы азота используются отдельными водорослями на рост и другие метаболитные нужды с неодинаковой эффективностью (Fan et al., 2003), причем эффективность зависит от освещенности (Levasseur et al., 1993).

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 08-04-00932).*

#### Литература

- Винберг Г.Г., 1960. Первичная продукция водоемов. Минск: Изд-во АН БССР. 329 с.
- Запара Е.В., Белевич Т.А., Ильяш Л.В., 2007. Конкурентные отношения между планктонными водорослями Белого моря при разных источниках азота // Журн. общ. биол. Т. 68, № 3. С. 195–204.
- Ильяш Л.В., Запара Е.В., 2006. Конкуренция двух морских диатомовых водорослей за азот мочевины и нитратов при трех уровнях освещенности // Журн. общ. биол. Т. 67, № 6. С. 464–475.
- Ильяш Л.В., Житина Л.С., Федоров В.Д., 2003. Фитопланктон Белого моря. М.: Янус-К. 168 с.
- Максимова М.П., 1991. Гидрохимия Белого моря // Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т.2. Белое море. Ч.1. С. 8–193.
- Федоров В.Д., 1979. О методах изучения фитопланктона и его активности. М.: Изд. МГУ. 165 с.

- Antia N.J., Harrison J.P., Oliveira L., 1991. The role of dissolved organic nitrogen in phytoplankton nutrition, cell biology and ecology // *Phycologia*. V. 30. P. 1–89.
- Ben-Amotz A., Shaish V., Avron M., 1989. Mode of action of the massively accumulated  $\beta$ -carotene of *Dunaliella bardawil* in protecting the alga against damage by excess irradiation // *Plant Physiol*. V. 91. P. 1040–1043.
- Berg G.M., Balode M., Purina I., Bekere S., Béchemin C., Maestrini S.Y., 2003. Plankton community composition in relation to availability and uptake of oxidized and reduced nitrogen // *Aquat. Microb. Ecol.* V. 30. P. 263–274.
- Berman T., Bronk D.A., 2003. Dissolved organic nitrogen: a dynamic participant in aquatic ecosystems // *Aquat. Microb. Ecol.* V. 31. P. 279–305.
- Falkowski P.G., Raven J.A., 1997. *Aquatic photosynthesis*. Malden: Blackwell Science. 375 p.
- Fan C., Glibert P.M., Lomas M.W., 2003. Characterization of urease activity in three marine phytoplankton species, *Aureococcus anophagefferens*, *Prorocentrum minimum*, and *Thalassiosira weissflogii* // *Mar. Biol.* V. 142. P. 949–958.
- Guillard R. R. L., Ryther J. H., 1962. Studies on marine diatoms. I. *Cyclotella nana* Hustedt and *Detonula confervacea* (Cleve) Gran. // *Can. J. Microbiol.* № 8. P. 229–239.
- Herzig R., Falkowski P.G., 1989. Nitrogen limitation in *Isochrysis galbana* (Haptophyceae). Photosynthetic energy conversion and growth efficiencies // *J. Phycol.* V. 25. P. 462–471.
- Hillebrand H., Durselen C. D., Kirschtel D., Pollinger U., Zohary T., 1999. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae // *J. Phycol.* V. 35. P. 403–424.
- Huppe H.C., Turpin D.H., 1994. Integration of carbon and nitrogen metabolism in plant and algal cells // *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* V. 45. № 3. P. 577–607.
- Kolber Z., Zehr J., Falkowski P.G., 1988. Effects of growth irradiance and nitrogen limitation on photosynthetic energy conversion in Photosystem II // *Plant Physiol*. V. 88. P. 923–929.
- Levasseur M., Thompson P.A., Harrison P.J., 1993. Physiological acclimation of marine phytoplankton to different nitrogen sources // *J. Phycol.* V. 29. P. 587–595.
- Menden-Deuer S., Lessard D.J., 2000. Carbon to volume relationships for dinoflagellates, diatoms, and other protist plankton // *Limnol. Oceanogr.* V. 45. P. 569–579.
- Mulholland M.R., Lee C., Glibert P.M., 2003. Extracellular enzyme activity and uptake of carbon and nitrogen along an estuarine salinity and nutrient gradient // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* V. 258. P. 3–17.
- Rees T.A.V., Syrett P.J., 1979. Mechanisms for urea uptake by the diatom *Phaeodactylum tricornutum*: the uptake of thiourea // *New Phytol.* V. 83. P. 37–48.
- Ryther J., Dunstan W.M., 1971. Nitrogen, phosphorus and eutrophication in the coastal marine environment // *Science*. V. 171. P. 1008–1013.
- Sukenik A., Bennett J., Mortain-Bertrand A., Falkowski P.G., 1990. Adaptation of the photosynthetic apparatus to irradiance in *Dunaliella tertiolecta* // *Plant Physiol*. V. 92. P. 891–898.
- Williams S.K., Hodson R.C., 1977. Transport of urea at low concentrations in *Chlamydomonas reinhardtii* // *J. Bacteriol.* V. 130. P. 266–273.

## THE PRODUCTIONAL CHARACTERISTICS OF PHYTOPLANKTON OF THE WHITE SEA IN DIFFERENT SOURCE OF NITRATE

**T.A. Belevich**

Moscow State University, Moscow, Russia  
e-mail: 3438083@list.ru

Phytoplankton was sampled in the Kandalaksha Bay of the White Sea in the end of august, 2007. The samples were kept 14 days *in situ* under two levels of irradiance ( $E_1 > E_2$ ) with additions of nitrogen in form of urea (U), glycine (G), nitrate (N) and ammonium (A). Species composition, abundance, biomass and primary production were estimated every 3rd day. After additions of nitrogen increase of gross biomass was registered in all experimental communities. This increase was considerably higher than in control. Biomass gain of phytoplankton depended on nitrogen source and irradiance level. In N and U communities  $B_{max}$  was higher under  $E_1$ , in A community – under  $E_2$ , in G community  $B_{max}$  didn't show any considerable differences. The comparison of specific photosynthetic activity of algae, assimilating one or another addition of nitrogen under two levels of irradiance, shows, that during a period of active growth in G and U communities (except 1st day) and in N community (except 3rd day) P/B was higher under  $E_2$ , than under  $E_1$ . At the same time, in A communities P/B was higher under  $E_1$ , than under  $E_2$  (except 1st day).

## ПАРАМЕТРЫ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ БЕЛОМОРСКОГО ФИТОПЛАНКТОНА ПРИ РАЗНЫХ ИСТОЧНИКАХ АЗОТА

Т.А. Белевич, В.А. Осипов

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, г. Москва, Россия  
e-mail: 3438083@list.ru

Первичная продукция в большинстве районов Мирового океана ограничена недостатком азота (Glibert, 1988). Азотное лимитирование приводит к снижению эффективности световых реакций фотосинтеза, уменьшению скорости фотосинтетической фиксации углерода и популяционного роста водорослей (Falkowski, Raven, 1997). В условиях недостатка минерального азота возрастает значимость потребления планктонными водорослями растворенного органического азота ( $N_{\text{орг}}$ ). При обширном объеме сведений о способности различных водорослей ассимилировать тот или иной содержащий азот органический субстрат (см., например, Antia et al., 1991), данные о динамике фотосинтетической активности и, в частности, световых реакций фотосинтеза, при потреблении  $N_{\text{орг}}$  практически отсутствуют.

Один из широко используемых подходов для определения эффективности световых реакций фотосинтеза – оценка параметров флуоресценции фотоавтотрофов. В частности, максимальная квантовая эффективность фотосистемы 2 (относительный выход переменной флуоресценции у адаптированных к темноте водорослей) отражает эффективность фотохимического преобразования энергии в реакционных центрах фотосистемы 2 (Falkowski, Raven, 1997). Этот параметр используется в качестве характеристики физиологического состояния фитопланктона и его фотосинтетической активности (Falkowski, Raven, 1997). Ранее нами была исследована динамика параметров флуоресценции после внесения добавок органического (мочевина, глицин) и минерального (нитраты, аммоний) азота в лимитированные по азоту культуры морских планктонных водорослей *Pseudo-nitzschia delicatissima*, *Thalassiosira weissflogii* и *Tetraselmis viridis*, акклиматизированных к лимитирующей и насыщающей фотосинтез освещенности (Ильяш и др., 2007). Показано, что за счет ассимиляции органического азота у водорослей происходит увеличение относительного выхода переменной флуоресценции, максимальной относительной скорости электронов по электронтранспортной цепи и величины насыщающей интенсивности света. Выявлены видоспецифичная зависимость динамики параметров флуоресценции от источника азота и освещенности (Ильяш и др., 2007).

В природных экосистемах концентрация  $N_{\text{орг}}$  изменяется значительно как во времени, так и в пространстве. Значимую долю в  $N_{\text{орг}}$  составляют вещества, которые планктонные водоросли способны ассимилировать. Например, в летний период доля азота мочевины в суммарном содержании  $N_{\text{орг}}$  может достигать 48%, а доля азота свободных аминокислот – более 25% (Flynn, Butler, 1986). В природных экосистемах фитопланктон в поверхностном слое испытывает стресс фотоингибирования, на промежуточных глубинах фотической зоны освещенность близка к насыщающему фотосинтез уровню, на нижней границе фотической зоны освещенность лимитирует фотосинтез. Различная обеспеченность фитопланктона световой энергией, а также зависимость скорости потребления водорослями мочевины и аминокислот от освещенности (Bonin et al., 1982; Wallen, Allan, 1987) выдвигают в качестве актуальных задач исследование динамики параметров флуоресценции у водорослей, ассимилирующих  $N_{\text{орг}}$  при разных уровнях освещенности. Особую актуальность такой подход приобретает в свете ежегодного возрастания количества поступающего в водные экосистемы органического азота антропогенного происхождения (Seitzinger, Sanders, 1999).

В настоящем исследовании проведен сравнительный анализ динамики параметров флуоресценции экспериментальных сообществ фитопланктона Белого моря при ассимиляции нитратов, аммония, глицина и мочевины при двух уровнях освещенности.

### Материалы и методы

Эксперименты проводили на Беломорской биологической станции Московского государственного университета (Карельский берег Кандалакшского залива Белого моря) с 23 августа по 10 сентября 2007 г. В позднелетний период фитопланктон Белого моря лимитирован недостатком азота (Максимова, 1991; Ильяш и др., 2003).

**Схема экспериментов.** Фитопланктон, служивший исходным материалом для экспериментов, отбирали с помощью сети из планктонного газа № 78 в слое 2–5 м. Для устранения пресса выедания растительным зоопланктоном фитопланктон пропускали через планктонный газ № 40. В 1.5 литровые пластиковые ёмкости добавляли отфильтрованную морскую воду, концентрированный фитопланктон (посевной титр – 1150 кл/мл, 2940 мкгС/л), а так же все биогенные элементы, за исключением азота, согласно прописи среды f/2 (Guillard, Ryther, 1962). Азот вносили в виде мочевины, глицина, нитратов или аммония в концентрации 180 мкмоль азота/л. Соотношение содержания азота и фосфора в среде равнялось пяти, что согласно общепринятым взглядам (Ryther, Dunstan, 1971), обуславливает ограничение развития водорослей недостатком азота. В качестве контроля использовали фитопланктон без добавок азота. Экспериментальные емкости экспонировали *in situ* на плотиках на глубине 1 м. Полуденная освещенность на этой глубине (E1) колебалась в пределах 25 – 1050 мкЕ/(м<sup>2</sup> сек). Более низкую освещённость (E2), составлявшую в среднем 51 % от E1, создавали путём экранирования склянок тканью средней плотности.

Все варианты эксперимента проводили в трёх повторностях. При дальнейшем изложении сообщества, росшие с использованием разных источников азота, обозначены следующим образом: сообщество, ассимилирующее нитраты – N, глицин – G, мочевины – M, аммоний – A. Контрольное сообщество (без добавок азота) обозначено как K.

**Параметры флуоресценции** фитопланктона оценивали с использованием флуорометра WaterPAM (Walz, Германия) по методологии быстрых световых кривых (Rapid Light Curves, RLCs) (Schreiber et al., 1997; Ralph, Gademann 2005). Для каждого экспериментального сообщества параметры флуоресценции измеряли на одной подпробе при последовательном увеличении (от нуля) интенсивности света, генерируемого в флуорометре WaterPAM. Перед измерениями все подпробы выдерживали в темноте не менее 30 мин. Интенсивности освещения составляли 25, 52, 71, 98, 144, 208, 291 и 401 мкЕ/(м<sup>2</sup> с). Время освещения фитопланктона светом каждой интенсивности равнялось 30 секундам.

Квантовую эффективность фотосистемы 2 (ФС2) измеряли при насыщающей вспышке 5000 мкЕ/(м<sup>2</sup> с) продолжительностью 0,8 с, генерируемой флуорометром. Флуорометр регистрирует следующие показатели:  $F_0$  и  $F_m$  (у клеток, акклимизированных к темноте),  $F'_m$  и  $F_t$  (у клеток, подвергшихся освещению светом определенной интенсивности). На основе этих показателей флуорометром WaterPAM автоматически рассчитываются следующие параметры:

1) Максимальная квантовая эффективность ФС2  $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$ , где  $F_0$  – минимальный выход флуоресценции, измеренный непосредственно перед насыщающей вспышкой.

2) Фотохимическая эффективность ФС2 клеток, освещаемых в течение 30 с светом определенной интенсивности  $\Phi_{\text{ФС2}}$ .  $\Phi_{\text{ФС2}} = (F'_m - F_t)/F'_m$  (Genty et al. 1989), где  $F_t$  – выход флуоресценции при данной интенсивности света, измеренный непосредственно перед насыщающей вспышкой. Параметр  $\Phi_{\text{ФС2}}$  отражает долю световой энергии, используемой в фотохимических реакциях от световой энергии, поглощенной хлорофиллом ФС2.

3) Нефотохимическое тушение флуоресценции  $\text{NPQ} = (F_m - F'_m)/F'_m$ . Величина NPQ характеризует рассеивание световой энергии в виде тепла (Schreiber, 2004).

4) Относительная скорость нециклического электронного транспорта при определенной интенсивности света  $\text{rETR} = \Phi_{\text{ФС2}} \cdot 0,5 \cdot E_i$ , где  $E_i$  – освещенность, мкЕ/(м<sup>2</sup> с). Принимается равное распределение световой энергии между ФС2 и ФС1 (Sakshaug et al., 1997).

Соотнесение каждой интенсивности света значения  $\text{rETR}$  дает так называемые быстрые световые кривые (Schreiber et al., 1997; Ralph, Gademann 2005), обозначаемые далее как P/E кривые. На основании полученных P/E кривых оценивали следующие фотосинтетические параметры: коэффициент максимальной утилизации световой энергии (угол наклона P/E кривой,  $\alpha$ ) и максимальную относительную скорость электронов по электрон транспортной цепи ( $\text{rETR}_{\text{max}}$ ). Величину  $\alpha$  рассчитывали как коэффициент линейной регрессии, построенной по точкам, лежащим на светолимитированном участке P/E кривой,  $\text{rETR}_{\text{max}}$  – как среднее по значениям  $\text{rETR}$ , находящимся на светонасыщающем участке (Jassby, Platt, 1976). Обозначения и определения фотосинтетических параметров приведены в соответствии с общепринятой номенклатурой (MacIntyre et al., 2002).

## Результаты и обсуждение

После внесения добавок азота во всех сообществах наблюдалось увеличение суммарной биомассы водорослей, превосходящее таковое в контроле. Увеличение биомассы продолжалось до 6 сут при E1 и до 9 сут при E2. Величина накопленной биомассы фитопланктона зависела от источника азота и уровня освещенности (Белевич, 2009).

По мере роста экспериментальных сообществ изменялись параметры флуоресценции водорослей, при этом динамика параметров флуоресценции зависела от источника азота и освещенности (табл.).

На стадии активного роста с первых по шестые сутки максимальная квантовая эффективность ФС2 ( $F_v/F_m$ ) изменялась в пределах 0,64 – 0,71. Такие величины свидетельствуют о хорошем физиологическом состоянии водорослей (Kromkamp et al., 1998) в экспериментальных сообществах, а также о том, что водоросли не лимитированы недостатком азота (Parkhill et al., 2001).

Сопоставление величин максимальной относительной скорости фотосинтетического транспорта электронов ( $rETR_{max}$ ) водорослей, ассимилирующих глицин, мочевины и нитраты при двух уровнях освещенности, дает картину аналогичную отмеченной для P/B (Белевич, 2009). В сообществах, росших с использованием аммония, в отличие от соотношения величин P/B,  $rETR_{max}$  было выше при E2, чем при E1 на протяжении всего периода увеличения биомассы.

Динамика коэффициента максимальной утилизации световой энергии  $\alpha$  практически не зависела от добавки азота. При всех добавках наибольшие значения  $\alpha$  достигались на третьи сутки роста как при E1, так и при E2. На 6 и 9 сутки при всех добавках значения  $\alpha$  в условиях освещенности при E2 были выше таковых при E1. Ранее отсутствие зависимости  $\alpha$  от источника (органический или минеральный) азота была показана для водоросли *Aureoumbra lagunensis*, относящейся к классу Pelagophyceae (Harris et al., 2007).

Таблица

Динамика максимальной квантовой эффективности ФС2 ( $F_v/F_m$ ), максимальной относительной скорости фотосинтетического транспорта электронов ( $rETR_{max}$ ), коэффициента максимальной утилизации световой энергии ( $\alpha$ ), нефотохимического тушения при интенсивности света 401 мкЕ/(м<sup>2</sup> с) (NPQ) у водорослей, росших с добавками нитратов (N), мочевины (M), глицина (G) и аммония (A) при освещенности E1 и E2.

Сутки роста	Освещенность							
	E1				E2			
	Добавки				Добавки			
	N	M	G	A	N	M	G	A
	$F_v/F_m$ , усл. ед.							
1	0,69	0,69	0,68	0,68	0,69	0,66	0,70	0,67
3	0,67	0,66	0,70	0,67	0,71	0,67	0,70	0,69
6	0,64	0,67	0,67	0,69	0,70	0,70	0,69	0,72
9	0,61	0,57	0,55	0,61	0,66	0,65	0,68	0,66
	$rETR_{max}$ , усл. ед.							
1	29,9	30,7	29,0	26,7	30,1	30,2	31,7	28,8
3	35,1	32,2	31,5	32,2	28,5	37,7	34,5	33,0
6	20,4	23,0	21,6	22,6	26,5	27,7	26,0	31,3
9	18,3	17,5	12,0	16,0	26,4	29,2	26,7	29,0
	$\alpha$ , усл. ед.							
1	0,200	0,197	0,194	0,179	0,201	0,204	0,192	0,175
3	0,217	0,222	0,218	0,213	0,217	0,228	0,212	0,215
6	0,184	0,194	0,186	0,194	0,205	0,211	0,205	0,224
9	0,177	0,156	0,131	0,158	0,203	0,203	0,200	0,194
	NPQ, усл. ед.							
1	0,97	0,81	0,80	1,13	0,82	0,74	1,04	0,92
3	0,61	0,64	0,77	0,45	0,43	0,37	0,56	0,57
6	1,15	1,01	1,43	0,92	0,94	0,89	0,82	0,82
9	1,02	1,09	1,31	0,91	0,86	0,95	0,93	0,85

Динамика нефотохимического тушения (NPQ) зависела от ассимилируемого субстрата и уровня освещенности. Значения NPQ при увеличении интенсивности фотосинтетически активной радиации возрас-



тали более резко в сообществах G за исключением первых суток при E1 и шестых суток при E2. При всех добавках и обеих освещенностях с первых по третьи сутки значения NPQ снижались, а по мере достижения водорослями максимальных значений биомассы (на 6-е и 9-е сутки) снова возрастали. Это согласуется с выявленной ранее зависимостью NPQ от стадии роста водорослей (Arsalane et al., 1994).

В большинстве случаев значения NPQ у водорослей, росших при E1, были выше таковых при E2. Исключение составили сообщества G в 1-е сутки и A на 3-и сутки. В экспериментальных сообществах по числу видов и биомассе преобладали диатомовые водоросли (Белевич, 2009). У диатомовых водорослей основной компонентой NPQ является энергозависимое тушение ( $q_E$ ) в ксантофильном цикле (Casper-Lindley, Björkman, 1998). Электронный транспорт между двумя фотосистемами индуцирует градиент протонов через тилакоидную мембрану. Соответствующее подкисление лумена ведет к превращению диадиноксантина в диатоксантин, который рассеивает избыточную энергию в виде тепла (Casper-Lindley, Björkman, 1998; Lavaud et al., 2004). Амплитуда и кинетика NPQ у диатомей зависит от уровня освещенности, при котором растут водоросли (Lavaud et al., 2003) и выше у адаптированных к более высокой освещенности клеток (Perkins et al., 2006). Более высокие значения NPQ при E1, чем при E2 согласуются с тем, что в большинстве случаев максимальная относительная скорость фотосинтетического транспорта электронов отмечались при более низкой освещенности. Помимо зависимости от освещенности для диатомей показана видоспецифичность амплитуды и кинетики NPQ (Lavaud et al., 2004). Соответственно, видоспецифическая эффективность использования отдельными видами водорослей разных азотсодержащих субстратов (Fan et al., 2003), обуславливает зависимость NPQ сообществ от источника азота и освещенности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 08-04-00932).

### Литература

- Белевич Т.А., 2009. Продукционные характеристики фитопланктона Белого моря в зависимости от источника азота. Настоящий сборник.
- Ильяш Л.В., Житина Л.С., Федоров В.Д., 2003. Фитопланктон Белого моря. М.: Янус-К. 168 с.
- Ильяш Л.В., Белевич Т.А., Уланова А.Ю., Маторин Д.Н., 2007. Флуоресцентные параметры морских планктонных водорослей при ассимиляции органического азота // Вестник Московск. ун-та. Сер. 16, № 3. С. 17–22.
- Максимова М.П., 1991. Гидрохимия Белого моря // Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т.2. Белое море. Ч.1. С. 8–193.
- Antia N.J., Harrison J.P., Oliveira L., 1991. The role of dissolved organic nitrogen in phytoplankton nutrition, cell biology and ecology // *Phycologia*. V. 30. P. 1–89.
- Arsalane W, Rousseau B, Duval J-C., 1994. Influence of the pool size of the xanthophyll cycle on the effects of light stress in a diatom: competition between photoprotection and photoinhibition // *Photochem. Photobiol.* V. 60. P. 237–243.
- Bonin D.J., Antia N.J., Pelaez-Hudlet J., 1982. Influence of temperature and light intensity on the utilization of glycine as nitrogen source for phototrophic growth of marine unicellular cyanophyte (*Cyanobacterium*) // *Bot. Mar.* V. 25. P. 493–499.
- Casper-Lindley C., Björkman O., 1998. Fluorescence quenching in four unicellular algae with different light-harvesting and xanthophyll-cycle pigments // *Photosynth. Res.* V. 56. P. 277–289.
- Falkowski P.G., Raven J.A., 1997. Aquatic photosynthesis. Malden: Blackwell Science. 375 p.
- Fan C., Glibert P.M., Lomas M.W., 2003. Characterization of urease activity in three marine phytoplankton species, *Aureococcus anophagefferens*, *Prorocentrum minimum*, and *Thalassiosira weissflogii* // *Mar. Biol.* V. 142. P. 949–958.
- Flynn K.J., Butler I., 1986. Nitrogen sources for the growth of marine microalgae: role of dissolved free amino acids // *Mar. Ecol. Progr. Ser.* V. 34. P. 28–304.
- Genty B., Briantais J-M., Baker N.R., 1989. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence // *Biochim. Biophys. Acta*. V. 990. P. 87–92.
- Glibert P.M., 1988. Primary productivity and pelagic nitrogen cycling // Nitrogen cycling in coastal marine environments / Eds. T.H. Blackburn, J. Sorensen. N. Y. P. 3–31.
- Guillard R. R. L., Ryther J. H., 1962. Studies on marine diatoms. I. *Cyclotella nana* Hustedt and *Detonula confervacea* (Cleve) Gran. // *Can. J. Microbiol.* V. 8. P. 229–239.
- Harris I. Muhlstein, Tracy A. Villareal, 2007. Organic and inorganic nutrient effects on growth rate-irradiance relationships in the texas brown-tide alga *Aureocumbra lagunensis* (Pelagophyceae) // *J. Phycol.* V. 43 (6). P. 1223–1226.
- Jassby A.D., Platt T., 1976. Mathematical formulation of the relationship between photosynthesis and light for phytoplankton // *Limnol. Oceanogr.* V. 21. P. 540–547.
- Kromkamp J., Barranguet C., Peene J., 1998. Determination of microphytobenthos PSII quantum efficiency and photosynthetic activity by means of variable chlorophyll fluorescence // *Mar. Ecol. Progr. Ser.* V.162. P. 45–55.

- Lavaud J., Rousseau B., Etienne A-L., 2003. Enrichment of the light harvesting complex in diadinoxanthin and implications for the non-photochemical fluorescence quenching in diatoms // *Biochemistry*. V. 42. P. 5802–5808.
- Lavaud J., Rousseau B., Etienne A-L., 2004. General features of photoprotection by energy dissipation in planktonic diatoms (Bacillariophyceae) // *J. Phycol.* V. 40. P. 130–137.
- MacIntyre H.L., Kana T., Anning T., Geider R., 2002. Photoacclimation of photosynthesis irradiance response curves and photosynthetic pigments in microalgae and cyanobacteria // *J. Phycol.* V. 38. № 1. P. 17–38.
- Parkhill J-P., Maillet G., Cullen J.J., 2001. Fluorescence-based maximal quantum yield for PSII as a diagnostic of nutrient stress // *J. Phycol.* V. 37. P. 517–529.
- Perkins R.G., Mouget J-L., Lefebvre S., Lavaud J., 2006. Light response curve methodology and possible implications in the application of chlorophyll fluorescence to benthic diatoms // *Mar. Biol.* V. 149. P. 703–712.
- Ralph P.J., Gademann R., 2005. Rapid light curves: a powerful tool to assess photosynthetic activity // *Aquat. Bot.* V. 82. P. 222–237.
- Ryther J., Dunstan W.M., 1971. Nitrogen, phosphorus and eutrophication in the coastal marine environment // *Science*. V. 171. P. 1008–1013.
- Sakshaug E., Bricaud A., Dandonneau Y., Falkowski P.G., Kiefer D.A., Legendre L., Morel A., Parslow J., Takahashi M., 1997. Parameters of photosynthesis: definitions, theory and interpretation of results // *J. Plankton. Res.* V. 19. P. 1637–1670.
- Schreiber U., 2004. Pulse-Amplitude-Modulation (PAM) fluorometry and saturation pulse method: an overview // *Chlorophyll a fluorescence: a signature of photosynthesis* / Eds. G.C. Papageorgiou, Govindjee. Kluwer Acad. Publ. Dordrecht The Netherlands. P. 279–319.
- Schreiber U., Gademann R., Ralph P.J., Larkum A.W.D., 1997. Assessment of photosynthetic performance of *Prochloron* in *Lissoclinum patella* in hospite by chlorophyll fluorescence measurements // *Plant Cell Physiol.* V. 38. P. 945–951.
- Seitzinger S.P., Sanders R.W., 1999. Atmospheric input of dissolved organic nitrogen stimulate estuarine bacteria and phytoplankton // *Limnol. Oceanogr.* V. 44. P. 721–736.
- Wallen D.G., Allan R., 1987. Utilization of amino acids by blue-green alga *Synechococcus* AN (*Anacystis nidulans*) // *Can. J. Botany*. V. 65. P. 1133–1136.

## FLUORESCENCE PARAMETERS OF THE WHITE SEA PHYTOPLANKTON IN DIFFERENT SOURCE OF NITRATE

**T.A. Belevich, V.A. Osipov**

Moscow State University, Moscow, Russia

e-mail: 3438083@list.ru

Phytoplankton was sampled in the Kandalaksha Bay of the White Sea in the end of August, 2007. The samples were kept 14 days *in situ* under two levels of irradiance (E1>E2) with additions of nitrogen in form of urea (U), glycine (G), nitrate (N) and ammonium (A). using fluorometer WaterPAM. The following fluorescence parameters were estimated every 3rd day: the maximum PSII efficiency (Fv/Fm), the maximum relative electron transport rate (rETRmax), coefficient of maximum photosynthetic efficiency ( $\alpha$ ) and non-photochemical quenching coefficient under light level 401  $\mu\text{E}/\text{m}^2\text{s}$  (NPQ). During the active growth period (from day 1 to day 6) Fv/Fm changed in range from 0.64 to 0.71. In A communities rETRmax was higher under E2, than under E1 during all period of biomass growth. The  $\alpha$  coefficient dynamics didn't show any dependence on the nitrogen additions. The NPQ dynamics depended on nitrogen source and irradiance level.

## ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЩУК ТУНДРОВЫХ И ЛЕСОТУНДРОВЫХ ОЗЕР КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

**Е.Г. Берестовский, И.А. Ерохина**

Учреждение Российской академии наук Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра РАН, г. Мурманск, Россия

e-mail: chiv1@front.ru

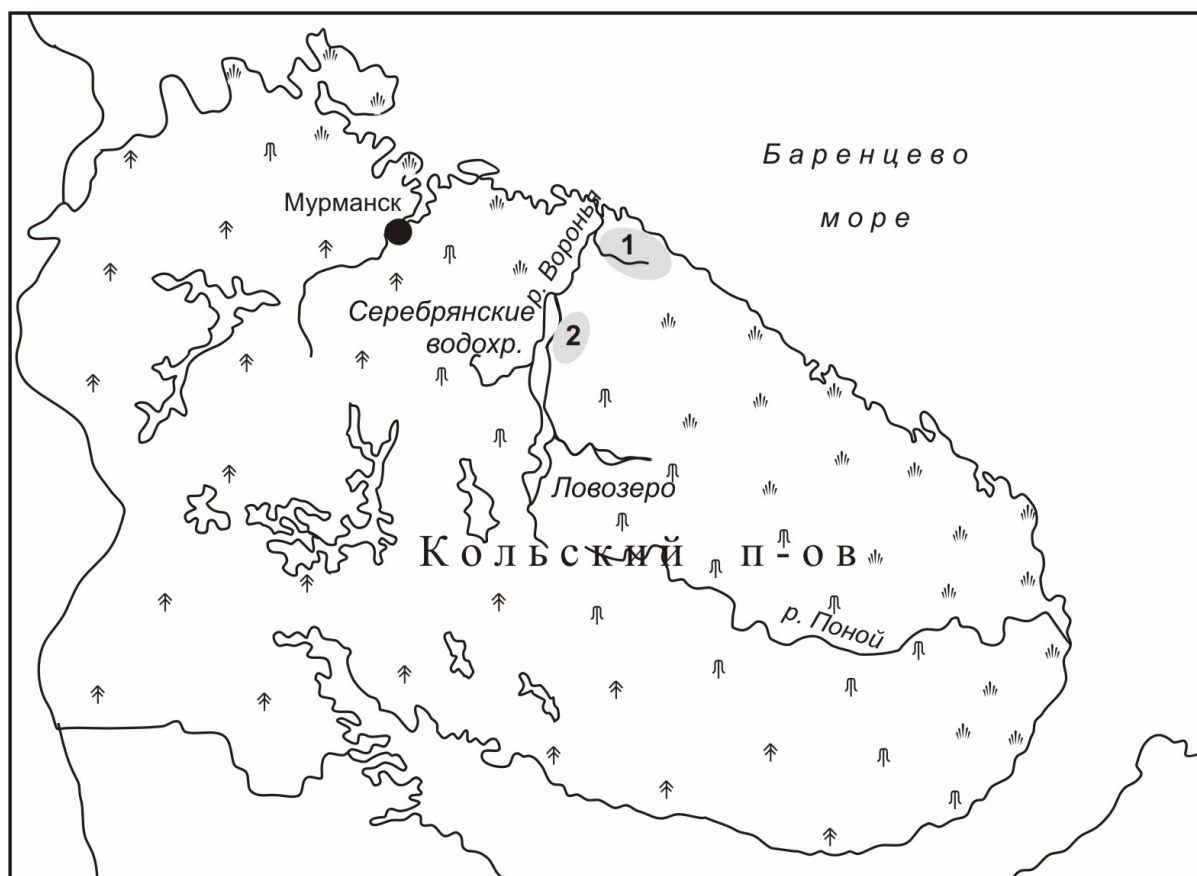
### Введение

Ареал щуки *Esox lucius* L. захватывает весь Кольский полуостров, однако в водоемах лесотундры и тундры Восточного Мурмана она распространена мозаично, причем центром расселения являются редкие водоемы с водной растительностью, пригодной для нерестового субстрата. Дан-

ных о биологии щуки в этих природных зонах крайне мало, а между тем именно на краю ареала в наибольшей степени проявляются адаптационные возможности вида в экстремальных для него условиях существования, которые во многих случаях и определяют его границы. Особый интерес представляют популяции некоторых тундровых озер, где большинство щук имеют необычно красноватые мышцы, а основу их рациона составляют гаммариды. В связи с этим, наряду с изучением биологических характеристик щук из лесотундровых и тундровых озер Кольского полуострова, в данной работе была предпринята попытка исследования некоторых показателей метаболизма рыб.

### Материал и методы

Материал собран в июне-сентябре 2002–2005 гг. Проведен биологический анализ 61 щуки из двенадцати лесотундровых озер бассейна Серебрянских водохранилищ, находящихся в среднем течении реки Воронья, и 41 щуки из трех горно-тундровых озер системы Хохрячьего ручья, являющегося нижним притоком реки Воронья (рис. 1). Рыбы отловлены спиннинговой снастью. Кровь для анализа брали из хвостовой вены. В сыворотке крови изучали содержание общего белка и его фракций, общих липидов, глюкозы, креатинина, хлоридов, кальция и фосфора унифицированными методами (Камышников, 2000). В печени и мышцах определяли гликоген и суммарные липиды как описано в работе (Методика ..., 1972). Концентрацию общих каротиноидов в мышцах, печени, гонадах определяли спектрофотометрически (Карнаухов, 1988). Цифровой материал обработан общепринятыми методами вариационной статистики с использованием критерия Стьюдента для оценки достоверности различий.



Карта-схема Кольского полуострова с указанием местоположения исследованных лесотундровых (1) и тундровых (2) озер.

### Результаты и обсуждение

Размерно-возрастная структура. Достоверно известно, что в малых озерах бассейна Серебрянских водохранилищ обитают щуки длиной до 95 см и массой до 6 кг. В наших уло-

вах встречались особи длиной до 88 см, весом 4.25 кг и в возрасте до 15 лет, причем преобладали рыбы длиной 40–60 см и массой 0.5–1.5 кг в возрасте 5–12 лет. Аналогичная структура популяций наблюдалась в озерах бассейна Хохрячьего ручья, однако особи крупнее 71 см и массы 2.1 кг нам в уловах не попадались, хотя раньше здесь вылавливали щук длиной до 85 см и массой до 3.7 кг (Берестовский, Ерохина, 2005).

Щука в малых озерах тундры и лесотундры растет гораздо медленнее, чем в зоне комфортного обитания вида. Если исходить из результатов обратного расчисления роста, то сеголетки вырастают к зиме всего в среднем до 4.5–4.9 см, а двухлетки в среднем до 9.2–10.4 см, притом, что в центре ареала годовики достигают длины 25–30 см. На индивидуальном уровне ежегодный прирост длины щук в возрасте 3+–7+ составляет в среднем 7–8 см, а затем он в большинстве малых озер снижается до 2.5–3.5 см. В то же время, у некоторых особей наблюдаются годы относительно высокого темпа роста, что свидетельствует об уровне потенциальных возможностей. Наиболее точно зависимость между длиной и возрастом рыб при такой закономерности роста аппроксимируется урав-

нением роста Гомпертца  $L_t = L_{\max} \cdot e^{-\ln(L_{\max}) \cdot e^{k \cdot t}}$ , где  $L_t$  – расчетная длина рыбы искомого возраста. При этом  $L_{\max}$  (максимальная расчетная длина, см),  $k$  (расчетный коэффициент) и  $R$  (коэффициент корреляции) составили, соответственно, для большинства популяций щук исследованных лесотундровых озер 74.2 см, –0.276 и 0.998, а для тундровых 66.2 см, –0.316 и 0.998. Между тем у щук, обитающих в двух смежных мелководных лесотундровых озерах Копшиньявра и питающихся многочисленным там сигом, существенного снижения темпа роста с возрастом не наблюдается и потому для этой популяции  $L_{\max}$ ,  $k$  и  $R$  составили, соответственно, 92.2 см, –0.290 и 0.999.

Зависимость между общей длиной ( $L$ , см) и массой ( $W$ , г) тела измеренных нами щук аппроксимируется уравнением регрессии  $W=0.0077L^{2.934}$  при  $R^2=0.96$ . Весовой темп роста рыб в малых тундровых и лесотундровых озерах значительно отстает от такового в более южных водоемах Колыского полуострова, а по сравнению с центральной зоной России это различие достигает двойной величины. Причем известно, что в первые годы после образования Верхнесеребрянского водохранилища у расселившихся в нем щук наблюдался относительно высокий темп роста и веса, однако уже через десять лет естественного отбора там остались только тугорослые особи с низким весовым приростом (Колюшев и др., 1985). Показательно то, что в аналогичных экстремальных условиях обитания вида на северо-востоке России – в Колымо-Анадырском регионе, и линейный, и весовой рост щук (Грунин, 2003) имеют те же закономерности, что и на Восточном Мурмане.

**Р а з м н о ж е н и е.** Таяние льда на малых озерах бассейна Серебрянских водохранилищ начинается обычно с конца мая, а в бассейне Хохрячьего ручья – в первой половине июня. В лесотундровых озерах в середине июня нам встречались отнерестившиеся щуки преимущественно на стадии VI или в переходной стадии VI-II. В начале июля в тундровых озерах все особи были в стадии VI-II, а в начале августа уже попадались созревающие самцы в стадии VI-III и даже III-IV, но самки в стадии VI-III отмечены только в начале сентября, основная же их часть оставалась в стадии VI-II. Размеры гонад проанализированных рыб оказались значительно меньше, чем у одноразмерных особей из зоны комфортного обитания вида, что позволяет предположить низкую плодовитость щук в исследованных нами водоемах, а наблюдаемая динамика созревания может свидетельствовать о не ежегодном участии хотя бы части самок и самцов в нересте.

**П и т а н и е.** Несмотря на обилие гольяна и колюшек, щука в тундровых озерах в течение всего года довольствуются малым рационом, что подтверждается и низким уровнем ожирения внутренностей. Более того, рыба в питании этого типичного хищника имеет тут второстепенное значение, и даже в период летнего откорма желудки щук часто бывают или пустыми или содержат десятки амфипод *Gammarus lacustris*. В малых озерах лесотундры тоже есть водоемы, где у всех щук в пищевом тракте были обнаружены исключительно гаммариды, причем их количество доходило до 230 экз. на особь длиной 50 см. Чем же объяснить такой скудный рацион при избытке доступной пищи и парадоксальную избирательность питания? Как показали экспериментальные исследования метаболизма морских рыб (Карамушко, 2001; Карамушко, Христиансен, 1999), адаптация их к низкой температуре шла по пути снижения годового потребления энергии. Очевидно, это присуще и щукам в исследованных нами популяциях, в результате чего они едят мало, причем ту пищу, которая способствует их выживанию в экстремальных условиях, и растут, соответственно, медленно. Но, вместе с тем, при пониженном годовом репродуктивном потенциале относительная эффектив-

ность их размножения и уровень выживаемости молоди при возникновении благоприятных условий будут безусловно выше, чем в обычных популяциях, что мы связываем с высоким уровнем накопления каротиноидов.

**К а р о т и н о и д ы.** Связывая красноватую окраску мяса у щук с содержанием в нем каротиноидных пигментов, мы, в то же время, обнаружили эти соединения и у тех рыб, мышцы которых имели обычный зеленоватый цвет, что вполне объяснимо вариациями количественных соотношений различных классов каротиноидов. Данные о 27 найденных каротиноидах у щук из озер Польши (Czczuga, Czeczuga-Semeniuk, 2000) свидетельствуют о богатом качественном составе этих соединений, причем это связывают с особенностями питания хищника, основу рациона которого составляют рыбы с интенсивной каротиноидной пигментацией. Обнаруженный нами феномен избирательного поедания гаммарид относится к иной, совершенно специфической стратегии адаптации. Эти ракообразные аккумулируют намного больше каротиноидов на единицу веса, чем рыбы, причем обнаруженные нами в желудках щук пресноводные бокоплавы вдвое превосходят по уровню их содержания морских сородичей – до 10.2 мг/100 г сырого веса.

Наши исследования показали, что щуки тундровых и лесотундровых озер имеют разные способности накопления каротиноидов в своих тканях (табл.1).

Таблица 1

**Содержание общих каротиноидов (мг/100 г сырого веса) в тканях и органах щук из различных водоемов**

ПОЛ РЫБ	РАЙОНЫ ИССЛЕДОВАНИЙ		
	Малые озера бассейна р. Воронья		Водоемы Польши (Czczuga, Czeczuga-Semeniuk, 2000)
	Лесотундровые	Тундровые	
Мышцы			
Самцы	0.036 (0.001–0.103), n=38	0.099 (0.063–0.217), n=15	0.020
Самки	0.054 (0.016–0.102), n=13	0.100 (0.019–0.211), n=30	0.055 (0.023–0.070)
Печень			
Самцы	0.329 (0.114–0.664), n=7	0.782 (0.535–1.250), n=3	0.086
Самки	0.308 (0.127–0.612), n=8	1.047 (0.413–1.833), n=6	0.126 (0.042–0.247)
Гонады			
Самцы	0.180 (0.123–0.237), n=2	0.273 (0.220–0.374), n=5	0.037
Самки	0.034, n=1	0.400 (0.224–0.536), n=8	0.056 (0.026–0.086)

*Примечание.* В таблице приведены средние значения показателя, в скобках – пределы колебаний; n – количество обследованных рыб.

Уровень содержания каротиноидов в мышцах щук из лесотундровых озер в среднем близок к величинам, полученным для рыб из водоемов Польши (Czczuga, Czeczuga-Semeniuk, 2000), однако он вдвое-втрое меньше, чем у щук из тундровых озер. Не обнаружено существенной разницы в уровне накопления каротиноидов в мышцах у особей разного пола, пойманных в одном месте, хотя можно было бы ожидать повышенное их содержание у самок при созревании икры (Лав, 1976). В то же время, при рассмотрении изменений содержания каротиноидов с возрастом наблюдаются отчетливые различия между самцами и самками, выражающиеся в более высоких темпах накопления пигментов у последних. Вероятно, у самок в механизме перераспределения каротиноидов в тканях при созревании гонад главенствующую роль играет печень, что особенно выражено у рыб из тундровых озер – уровень каротиноидов в печени самок более, чем на треть превышает таковой у самцов. Обращает на себя внимание содержание каротиноидов в гонадах изученных щук. У самок из тундровых озер этот показатель на порядок выше, чем у обитателей лесотундровых водоемов, и примерно в таких же пределах он отличается от показателей щук из водоемов Польши. Однако при сравнении с некоторыми представителями арктической фауны (например, с европейской корюшкой из Невской губы) содержание каротиноидов в гонадах как самцов, так и самок вполне сопоставимо. Так, у самцов невисской корюшки уровень каротиноидов в семенниках составляет 0.140 мг/100 г сырого веса, у самок в яичниках – 0.300 мг/100 г сырого веса (Шумилина и др., 2009).

Приведенные факты свидетельствуют о том, что феномен целевого накопления каротиноидов в организме заполярных щук является важнейшим звеном в механизме их адаптации к экстремальным условиям среды. По современным представлениям о метаболических адаптациях рыб в условиях Крайнего Севера (Карамушко, 2001) специфичным для этих гидробионтов является пониженное годовое потребление энергии в совокупности с более высокой эффективностью продуцирования вещества, а последнее связано с повышенным уровнем потребления кислорода, дополнитель-

ным источником которого служат такие депонирующие структуры, как каротиноиды (Карнаухов, 1988). Кроме кислородзапасающей функции каротиноидов адаптивное значение может иметь и антиоксидантная роль этих соединений, обусловленная наличием у них полиеновой цепи (Микулин, 2000). В условиях заполярных водоемов это актуально в связи с известным (Куликов и др., 1988) явлением активации процессов перекисного окисления липидов при низкой температуре. Поэтому накопление каротиноидов в тканях шук можно рассматривать и как фактор повышения устойчивости к длительному действию низкой температуры, и как защиту от нарастающего количества продуктов окисления липидов. Таким образом, относительно высокое содержание этих пигментов у шук, обитающих в экстремальных условиях, по крайней мере с двух вышеупомянутых сторон обеспечивает на молекулярно-клеточном уровне их высокую жизнеспособность.

Некоторые показатели метаболизма. Отмеченные различия в содержании каротиноидов в тканях шук из тундровых и лесотундровых озер побудили к исследованию и других биохимических показателей рыб с целью характеристики у них особенностей метаболизма. Было обнаружено, что щуки из обследованных водоемов значительно различаются по содержанию в тканях резервных веществ – углеводов и липидов. Так, содержание гликогена в печени шук из лесотундровых озер в 1.5 раза выше, чем у обитателей тундровых озер – 1166.34 мг% против 764.43 мг% ( $p < 0.01$ ). В то же время уровень гликогена в мышцах практически не различается в обеих группах и составляет в среднем 250 мг%. Для суммарных липидов в печени и мышцах отмечено иное распределение. Более высоким ( $p < 0.05$ ) уровнем липидов как в печени, так и в мышцах характеризуются рыбы из тундровых озер –  $7.34 \pm 0.75\%$  и  $2.85 \pm 0.30\%$ , соответственно. Для шук из лесотундровых озер эти показатели составляют  $4.23 \pm 0.58\%$  и  $1.20 \pm 0.25\%$ , что сопоставимо с уровнем липидов в печени и мышцах ряда морских рыб (Шумилина и др., 2009; Элементы физиологии ..., 1978). Отмеченные особенности накопления энергетических субстратов у изученных рыб, очевидно, отражают различия в их вкладе в энергообеспечение жизнедеятельности. У обитателей тундровых озер с более суровыми условиями существования в метаболизме возрастает роль липидов как более энергоемких субстратов. Имеющиеся литературные данные о зависимости накопления запасных липидов от экологических условий водоемов (Сидоров, 1983) позволяют предполагать, прежде всего, пищевое происхождение указанных различий, связанное с особенностями кормовой базы рыб, что отмечалось нами выше.

Исследование некоторых биохимических показателей крови шук из различных водоемов также выявило ряд отличий (табл.2).

Таблица 2

**Биохимические показатели сыворотки крови шук из лесотундровых и тундровых озер Кольского полуострова**

Показатели	Лесотундровые озера, n=10	Тундровые озера, n=15	p
Общий белок, г/л	$32.42 \pm 1.03$	$40.69 \pm 2.98$	$< 0.01$
Белковые фракции, отн. %:			
альбумин	$48.59 \pm 3.57$	$43.04 \pm 1.73$	$> 0.05$
$\alpha$ -глобулины	$20.05 \pm 4.14$	$11.30 \pm 0.93$	$< 0.05$
$\beta$ -глобулины	$12.65 \pm 1.95$	$12.46 \pm 1.65$	$> 0.05$
$\gamma$ -глобулины	$18.71 \pm 2.37$	$33.20 \pm 2.60$	$< 0.001$
Общие липиды, г/л	$8.90 \pm 1.34$	$5.80 \pm 0.14$	$< 0.05$
Глюкоза, ммоль/л	$3.28 \pm 0.48$	$2.56 \pm 0.39$	$> 0.05$
Кальций общий, ммоль/л	$2.65 \pm 0.17$	$2.90 \pm 0.09$	$> 0.05$
Фосфор неорганический, ммоль/л	$4.65 \pm 0.46$	$6.81 \pm 0.52$	$< 0.01$
Хлориды, ммоль/л	$96.00 \pm 9.39$	$70.51 \pm 2.78$	$< 0.01$
Креатинин, мкмоль/л	$184.37 \pm 21.29$	$196.66 \pm 12.29$	$> 0.05$

Примечание. n – количество обследованных рыб; p – степень достоверности различий между показателями рыб из исследуемых водоемов.

Тот факт, что у шук из тундровых озер уровень белка в крови выше, чем у рыб из лесотундровых водоемов, видимо, отражает участие и белков в качестве энергетического субстрата в метаболизме заполярных шук. Участие белков крови рыб в удовлетворении энергетических потребностей организма доказано экспериментально, и даже рекомендовалось использовать уровень белка в крови, наряду с содержанием общего жира, в качестве одного из критериев упитанности рыб (Сорвачев, 1982). Требуется отдельного объяснения различие между изученными группами рыб в содержа-

нии отдельных белковых фракций, особенно гамма-глобулинов. Некоторые авторы (Элементы физиологии ..., 1978) связывают повышенное поступление в кровяное русло гамма-глобулинов с изменениями функциональной роли печени.

Таким образом, результаты проведенных исследований свидетельствуют о существенных различиях между щуками, обитающими в тундровых и лесотундровых озерах Кольского полуострова. Эти различия проявляются как в характеристиках биологии рыб (рост, питание, размножение), так и в показателях их метаболизма.

### Литература

Берестовский Е.Г., Ерохина И.А., 2005. Щука *Esox lucius* L. малых озер Восточного Мурмана: биология, содержание каротиноидов // Ихтиофауна малых рек и озер Восточного Мурмана: биология, экология, ресурсы. Апатиты: Изд. КНЦ РАН. С.190–207.

Грунин С.И., 2003. Линейный и весовой рост обыкновенной щуки *Esox lucius* из водоемов северо-востока России // Чтения памяти В.Я. Леванидова. Вып. 2. С.382–386.

Камышников В.С., 2000. Справочник по клинико-биохимической лабораторной диагностике: В 2 т. Минск: Беларусь. 958с.

Карамушко Л.И., 2001. Метаболические адаптации рыб высоких широт // Докл. Академии наук. Т. 379, № 2. С.279–281.

Карамушко Л.И., Христиансен Й.Ш., 1999. Метаболизм и метаболическая адаптация у рыб высоких широт // Адаптация и эволюция живого населения полярных морей в условиях океанического перигляциала. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. С.56–61.

Карнаухов В.Н., 1988. Биологические функции каротиноидов. М.: Наука. 240с.

Колюшев А.И., Кузьмичев А.П., Курникова Т.А., Попов Н.Г., 1985. Влияние промысла на формирование ихтиофауны Серебрянского водохранилища и перспективы его рыбохозяйственного использования // Рыбохозяйственные исследования Верхнетуломского и Серебрянского водохранилищ Мурманской области. Мурманск: Изд-во ПИНРО. С.91–114.

Куликов В.Ю., Семенюк А.В., Колесникова Л.И., 1988. Перекисное окисление липидов и холодовой фактор. Новосибирск: Наука. 192с.

Лав Р.М., 1976. Химическая биология рыб. М.: Пищевая промышленность. 349с.

Методика морфо-физиологических и биохимических исследований рыб. М., 1972. 89с.

Микулин А.Е., 2000. Функциональное значение пигментов и пигментации в онтогенезе рыб. М.: Изд-во ВНИРО. 231с.

Сидоров В.С., 1983. Экологическая биохимия рыб. Липиды. Л.: Наука. 240с.

Сорвачев К.Ф., 1982. Основы биохимии питания рыб. М.: Легкая и пищевая промышленность. 247с.

Шумилина А.К., Козьмина А.В., Якубец Т.Г., 2009. Физиолого-биохимическая характеристика производителей корюшки // Актуальные проблемы экологической физиологии, биохимии и генетики животных: Матер. II Междунар. науч. конф. Саранск: ООО «Мордовия-ЭКСПО». С.162–164.

Элементы физиологии и биохимии общего и активного обмена у рыб / Под ред. Г.Е.Шульмана. Киев: Наук. думка, 1978. 204с.

Czczuga B., Czczuga-Semeniuk E., 2000. Carotenoid content in some body parts of pike (*Esox lucius* L.) before, during, and postspawning // Acta ichthyol. et pisc. V.30, № 1. P.101–115.

## PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL PECULIARITIES OF PIKES FROM LAKES OF THE KOLA PENINSULA

E.G. Berestovsky, I.A. Erokhina

Murmansk Marine Biological Institute, Kola Science Centre,

Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russia

e-mail: chiv1@front.ru

The results of biological analysis of pikes *Esox lucius* L. from tundra and forest-tundra lakes of the Kola peninsula are presented. Rate of body growth of fishes especially young was low. The annual growth of length of pikes in the age of 3+–7+ was 4–15 cm, then it decreased up to 2–5 cm in the majority of populations. The weight rate of body growth is also rather low. The fish in a feeding of this predator has here usually minor value, and more often a basis of a low ration make satiated with carotenoids

amphipodes *Gammarus lacustris*, and this phenomenon may be connected to adaptation of energy metabolism and reproductive function for extreme conditions of existence. In the tundra lakes the majority of pikes have reddish meat, and the level of total carotenoids content on the average in 2–3 times exceeds these parameters for fishes from forest-tundra lakes. Besides the differences in accumulation power substrates in a liver both muscles, and series of biochemical parameters of blood serum are found.

## ВЛИЯНИЕ РАЗНОЙ СОЛЕННОСТИ НА ЛИПИДЫ АМФИПОД БЕЛОГО МОРЯ

В.В. Богдан<sup>1</sup>, Г.А. Шкляревич<sup>2</sup>, Т.Р. Руоколайнен<sup>1</sup>, Л.В. Маркова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Учреждение Российской академии наук Институт биологии Карельского научного центра РАН,  
г. Петрозаводск, Россия

<sup>2</sup> Петрозаводский Государственный университет, г. Петрозаводск  
e-mail: gash@psu.karelia.ru

Соленость является одним из важнейших факторов в экологии гидробионтов (Хлебович, 1981). Средняя соленость вод Белого моря составляет 24,3‰. В районах, прилегающих к устьям рек, соленость снижается до 15‰ и ниже, у берегов колеблется в пределах 20–24‰, а в открытом море доходит до 26‰. Весной в период таяния льда и снега соленость воды на поверхности резко снижается. В кутовой части Кандалакшского залива распреснение происходит весной также и в результате массивованных холостых сбросов воды из водохранилища (оз. Имандра) каскада Нивских ГЭС по руслу реки Нива.

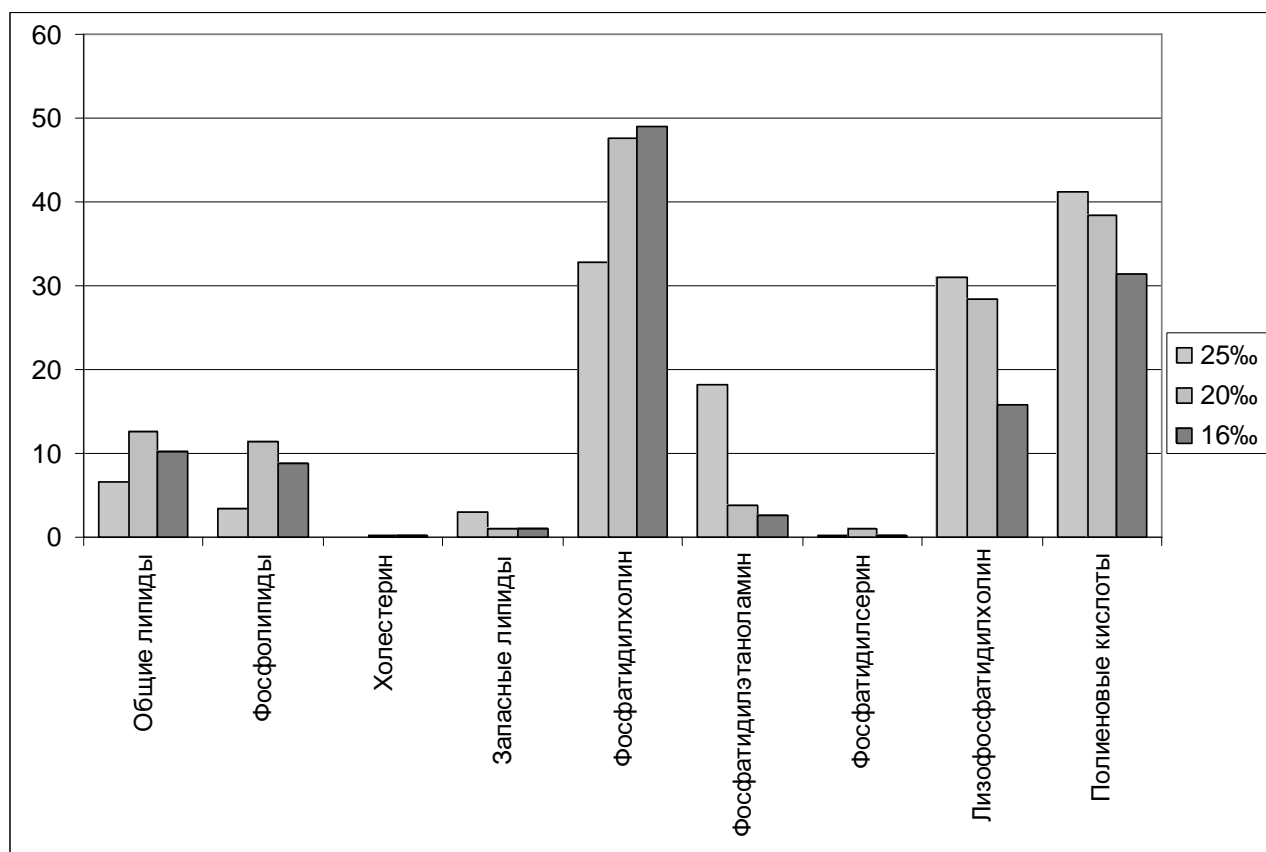
Соленость влияет на обитателей различными способами: общей концентрацией, относительным содержанием солей, коэффициентом абсорбции и насыщения растворенных газов, плотностью, вязкостью и др. Кроме величины изменения солености важное значение имеет продолжительность влияния этого фактора. Подавляющее большинство работ по влиянию солености на беспозвоночных посвящено изучению физиологического воздействия и толерантного диапазона. Амфиподы *Gammarus oceanicus* являются эвригалинным видом, выдерживающим колебания солености воды в наиболее широком диапазоне. Это предполагает наличие эффективных механизмов биохимической адаптации, связанных с липидами и белками (Карпевич, 1983).

Нами был изучен липидный и жирнокислотный состав литоральных *Gammarus oceanicus* в районах Белого моря с разной соленостью воды (25, 20 и 16‰). Для анализа липидов применяли общепринятые методы липидологии с использованием тонкослойной, газожидкостной и высокоэффективной жидкостной хроматографии.

Результаты исследования показали (рис), что в условиях более низкой солености у амфипод происходит повышение количества общих липидов. При сравнении фракционного состава отмечено значительное изменение уровня структурных компонентов мембран – фосфолипидов (ФЛ) и холестерина (ХЛ). Наблюдалось увеличение содержания фосфолипидов при опреснении относительно 25‰, однако четкой корреляции при снижении солености не наблюдалось. Между тем в отношении холестерина отмечалось увеличение его содержания по мере уменьшения солености воды. При этом величина Х/ФЛ при 20‰ не отличалась от 25‰, но оказалась почти вдвое выше при 16‰. Как показано ранее, молярное соотношение холестерина к фосфолипидам является показателем микровязкости биологических мембран, обеспечивающим оптимальные межклеточные взаимодействия (Лопухин и др., 1985). Увеличение этого коэффициента при более низкой солености должно приводить к повышению вязкости и снижению проницаемости клеточной мембраны.

В соотношениях индивидуальных фосфолипидов у амфипод (Рис.) по мере снижения солености обнаружено повышение уровня фосфатидилхолина (ФХ) и уменьшение лизофосфатидилхолина (ЛФХ), особенно выраженное при 16‰. В условиях пониженной солености отмечалось также уменьшение концентрации фосфатидилэтаноламина (ФЭА) и фосфатидилсерина. Изменения состава ФЛ, их упорядоченности и упаковки в бислое играют важнейшую роль в процессах адаптации клеток к условиям окружающей среды. Однако при этом важное значение имеет сохранение стабильности в соотношениях отдельных фосфолипидных фракций, определяющих проницаемость мембран. При опреснении величина ФХ/ФЭА у амфипод оказалась значительно ниже.





Изменение состава липидов у амфипод (в % к контролю) при разной солености.

В запуске адаптационных механизмов ведущая роль отводится физическому состоянию мембран, зависящему от состава жирных кислот в липидах. Сравнительное изучение жирнокислотных спектров при разной солености показало отличия в соотношении отдельных и сгруппированных по степени насыщенности кислот в липидах амфипод. В условиях более низкой солености отмечалось прогрессирующее снижение доли насыщенных кислот (22,8%, 18,5%, 9,0%), в основном пальмитиновой, и увеличение уровня моноеновых кислот, особенно 16:1 и 18:1. В результате перестроек жирнокислотного состава при снижении солености концентрация полиеновых кислот в липидах амфипод уменьшалась. При этом в равной степени происходило снижение эйкозапентаеновой кислоты (ЭПК) на 23% по сравнению с контрольной соленостью. Для мидий также было характерно снижение именно этой кислоты при уменьшении солености в аквариальном эксперименте (Нефедова и др., 2005). Изменение ЭПК в фосфолипидах отмечено при различных стрессовых воздействиях (Правдина, 1975). Это может свидетельствовать о ее определяющей роли в развитии тканевой и иммунологической устойчивости беспозвоночных, что продемонстрировано нами у осенних и летних амфипод (Богдан, Шкляревич, 2008). Величина отношения докозагексаеновой (ДГК) к эйкозапентаеновой кислоте монотонно уменьшалась по мере снижения солености (0,43; 0,41 и 0,39). При 20‰ и 16‰ наблюдалось также уменьшение доли арахидоновой кислоты в 1,2 и 2,2 раза относительно 25‰.

Полиненасыщенным жирным кислотам (ПНЖК) принадлежит важная роль в поддержании функционального состояния мембран. Наличие двойных связей в этих кислотах мешает плотной упаковке молекул в бислое, поэтому с уменьшением содержания ПНЖК в липидах их удельная плотность увеличивается, а текучесть и проницаемость бислоя, сформированного из таких липидов, снижается. Уменьшение доли ПНЖК в липидах амфипод при снижении солености воды обуславливает более высокую микровязкость мембран и, соответственно, их меньшую метаболическую и функциональную активность (Хочачка, Сомеро, 1977). В частности, изменение солености может вызывать угнетение двигательной активности организмов, относящихся к осмоконформной группе беспозвоночных животных (Горчаков, 1999). При опреснении в изучаемых нами пределах снижение доли полиеновых жирных кислот, связь которых с уровнем двигательной активности отмечалась у рыб (Шульман, Яковлева, 1983), может приводить к уменьшению подвижности амфипод.

Известно, что при изменении осмотических условий среды обитания у водных организмов интенсифицируются окислительные процессы, что приводит к усилению перекисного окисления липидов (Тарусов и др., 1969). У амфипод при более низкой солености об этом свидетельствует и нарастающее снижение уровня связанных с фосфолипидами полиненасыщенных жирных кислот.

Содержание запасных липидов у амфипод при пониженной солености оказалось существенно меньше, чем при 25‰. Однако изменения носили немонокотонный характер и были несколько более выражены, особенно для триацилглицеринов, при 20‰, чем при 16‰. Наблюдаемый при меньшей солености расход энергоемких липидных компонентов в организме амфипод направлен на перестройку осморегуляторной системы. Такой характер изменений считается защитной реакцией гидробионтов при различных стрессовых ситуациях, поскольку поддержание механизмов, обеспечивающих стабильность внутренней среды организма, вызывает необходимость повышения энергетических затрат.

Пониженная соленость сопряжена с возрастанием переноса ионов Na внутрь клетки, что вызывает у эвригалитных организмов необходимость регулировать проницаемость мембран для ионов. У амфипод при снижении солености в изученных пределах (25–16‰) происходит увеличение микровязкости за счет структурных перестроек липидного бислоя с участием ФЭА, ЛФХ, Х., ПНЖК, что характеризует снижение пассивной проницаемости клеточных мембран. Однако ключевую роль в поддержании гомеостаза при изменении солености играет Na,K-АТФ-аза, которая представляет собой интегральный белок плазматической мембраны, обеспечивающий трансмембранный перенос ионов Na и K против электрохимического градиента за счет энергии АТФ. Известно, что активность Na,K-АТФ-азы зависит от содержания фосфатидилсерина (Болдырев, 1985). Отмеченное у амфипод в условиях более низкой солености уменьшение уровня этого фосфолипида обуславливает снижение активного транспорта ионов.

Альтерации мембранных липидов и их жирнокислотных радикалов обеспечивают возможность морским организмам приспособиться к колебаниям солености воды путем изменения физического состояния мембран. Основным содержанием указанных адаптивных преобразований является такое изменение обменных процессов и реактивности различных функциональных систем, которое приводит к формированию клеточной устойчивости. Между тем при солености, близкой к пределам физиологического диапазона, наблюдался несколько иной характер изменчивости показателей липидного обмена (Богдан, Шкляревич, 2008). Так, в зоне сильного опреснения (5–8‰) у амфипод наблюдалось двукратное повышение количества общих липидов при увеличении уровня запасных липидов. В соотношениях индивидуальных фосфолипидов при увеличенном уровне компонентов клеточных и субклеточных мембран, резко снижалась концентрация лизопродуктов. В структуре мембранных липидов также наблюдалось значительное (на 50%) уменьшение концентрации полиненасыщенных жирных кислот, что может определять нарушение механизмов осморегуляции у амфипод. Однако накопление токсических перекисей и переокисление липидов, по-видимому, регулируется антиоксидантной системой, удерживающей свободнорадикальные процессы на оптимальном уровне. Это, несмотря на значительное уменьшение уровня полиеновых радикалов в фосфолипидах и нарушение функциональных характеристик клеточных мембран, дает возможность части популяции выживать при критически низкой солености, хотя в этой зоне и наблюдалось ухудшение состояния гидробионтов и заморные явления (Корякин, Шкляревич, 2001).

Полученные результаты свидетельствуют о наличии у *Lagunogammarus oceanicus* определенных осморегуляторных механизмов на уровне липидов, которые позволяют отдельным популяциям этого вида обитать как в условиях с пониженной соленостью, так и переносить резкие приливно-отливные колебания солености воды в устьях рек.

#### Литература

Богдан В.В., Шкляревич Г.А. 2008. Оценка состояния прибрежных экосистем Белого моря по эколого-биологическим и биохимическим показателям у амфипод // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. № 1.С. 61–73.

Болдырев А.А. 1985. Биологические мембраны и транспорт ионов. М.:МГУ. 205 с.

Горчаков И.А. 1999. Анализ двигательной активности *Asterias rubens* из Белого и Баренцева морей при различной солености // Биологические основы изучения, освоения и охраны животного и растительного мира, почвенного покрова Восточной Фенноскандии. Петрозаводск. С. 75–76.

Карпевич В.А. 1983. Реакция гидробионтов на загрязнение. М.: Наука. 185 с.

Корякин А.С., Шкляревич Г.А. 2001. Влияние опреснения на литоральные сообщества в кутовом участке Кандалакшского залива // Проблемы изучения рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря. Архангельск, С. 81–83.

Лопухин Ю.М., Арчаков А.И., Владимиров Ю.А., Коган Э.М. 1985. Холестерин. М.: Медицина. 351 с.

Нефедова З.А., Руоколайнен Т.Р., Алексеева Н.Н., Васильева О.Б., Рипатти П.О. и др. 2005. Последствия влияния опреснения воды на липидный и жирнокислотный состав мидий Белого моря. // Современные проблемы физиологии и биохимии водных организмов. Петрозаводск. С. 148–154.

Правдина Н.И. 1975. Значение жирнокислотных радикалов в структурной гетерогенности и метаболизме фосфолипидов // Успехи совр. биологии. Т.79. №2. С.205–224.

Тарусов Б.Н., Доскоч Я.Е., Козлов Ю.П. и др. 1969. О факторах, определяющих энергетику организмов при адаптации к осмотическим условиям. Ж. Биофизика. Т.14. Вып. 2. Хлебков В.В. 1981. Акклимация животных организмов. Л.: Наука, 136 с.

Хочачка П., Сомеро Д. 1977. Биохимическая адаптация. М.: Мир. 568 с.

Шульман Г.Е., Яковлева К.К. 1983. Гексаеновая кислота и естественная подвижность рыб // Журн. общ. биол. Т.44. № 4. С. 529–540.

## EFFECT OF SALINITY OF WHITE SEA ON LIPIDS COMPOSITION OF AMPHIPODS

V.V. Bogdan <sup>1</sup>, G.A. Schkljarevitch <sup>2</sup>, T.R. Ruokolainen <sup>1</sup>, L.V. Markova <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Biology of Karelian Research Centre  
of Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

<sup>2</sup> Petrozavodsk State University, Department of Ecology and Biology, Petrozavodsk  
e-mail: gash@psu.karelia.ru

The effect of salinity on lipids, phospholipids and fatty acid composition of White Sea amphipods was investigated.

## ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ГЕМОГЛОБИНА *CHIRONOMUS PLUMOSUS* (L.)

В.В. Большаков, А.М. Андреева

Учреждение Российской академии наук Институт биологии внутренних вод  
им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Ярославская обл., Россия  
e-mail: victorb@ibiw.yaroslavl.ru

Внеклеточные гемоглобины беспозвоночных, растворенные непосредственно в гемолимфе, как правило, имеют высокие величины молекулярной массы, достигающие 6000 kDa и выше, в отличие от внутриклеточных гемоглобинов, имеющих низкие величины молекулярной массы (Проссер, 1977; Уайт и др., 1982).. Исключением из этой закономерности является гемоглобин мотыля: его низкомолекулярный гемоглобин является внеклеточным белком, который растворен непосредственно в гемолимфе (Алякринская, 1979). У разных видов хирономид обнаружено более 10 фракций гемоглобинов. Согласно литературным сведениям гемоглобин хирономид представлен, в основном, мономерными (белки, состоящие из одной полипептидной цепи) и димерными (белки, состоящие из двух полипептидных цепей) формами (Schmidt, 1988). По некоторым данным (Tichy, 1975, 1981) гемоглобин мотыля из рода *Camptochironomus* имеет молекулярную массу около 16 kDa и представлен 12-ю фракциями. По данным других авторов (Rishi, 1996) у гемоглобинов *Ch. Ramosus* описано 11 фракций, из которых три приходится на мономеры, семь – на димеры и один гемоглобин является мономерным белком, способным к образованию димеров. Согласно данным Вебера (Weber, 1980) гемоглобин хирономид представлен не только мономерами и димерами, но и тетрамерами, находящимися в гемолимфе в свободном состоянии. Соотношение структурных форм может быть обусловлено рядом факторов, среди которых pH гемолимфы: в ще-

лочной среде содержится больше мономеров, тогда как в кислой среде больше димеров (Алякринская, 1979; Braunitzer, 1971). Высокий уровень разнообразия молекулярных форм гемоглобинов у насекомых, в том числе и у хирономид, связывают с дубликацией генов (Tichy, 1975). В пользу этого предположения говорит тот факт, что молекулярный вес всех гемоглобинов приблизительно одинаков и они имеют полигенную структуру (Braunitzer, 1971; Топунов, 2001).

Целью данного исследования является изучение молекулярного разнообразия и структурной организации гемоглобина у *Ch. plumosus*.

### Материалы и методы

Объектом исследования являются личинки хирономид из мелководья Рыбинского водохранилища. Для анализа использовали гемолимфу, содержащую гемоглобин. Для дифференциации гемоглобинов использовали различные электрофоретические системы, в том числе и двухмерные: диск-электрофорез 7% ПААГ, электрофорез нативных молекул гемоглобина в градиенте концентраций ПААГ 5 – 40% (Андреева, 2008), электрофорез денатурированных молекул гемоглобина в ПААГ в присутствии 8М мочевины и в SDS-ПААГ в восстанавливающих условиях (Laemmli, 1970). Окрашивание белков проводили с помощью Coomassie R-250 и бензидиновым реактивом согласно прописи (Маурер, 1971). Для определения молекулярной массы (ММ) нативных белков в ПААГ и денатурированных в ПААГ с 8М мочевиной использовали маркеры сывороточный альбумин человека САЧ (полимерные формы) и овальбумин ОА (полимерные формы); в SDS-ПААГ – набор PageRuler™ Prestained Protein Ladder Plus (Fermentas). Результаты обрабатывали статистически с помощью программного пакета OneDscan.

### Результаты и обсуждение

В диск-электрофорезе гемоглобины *Ch. plumosus* дифференцированы на 10–12 фракций. Мы анализировали гемоглобин из наиболее выраженных фракций, которые обозначили на электрофореграмме как 0-фракция (катодная фракция), 1-я, 2-я, 3-я, 4-я и 5-я (анодная фракция) (Рис.1).

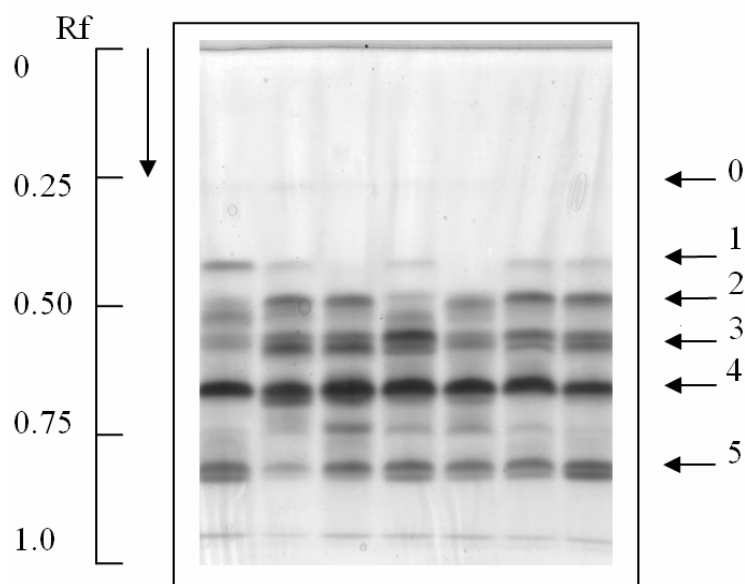


Рис.. 1. Диск электрофорез *Ch. plumosus*. 0–5 – фракции гемоглобинов; вертикальная стрелка указывает направление электрофореза; Rf – шкала электрофоретической подвижности от 0 до 1,0.

Гемоглобины из всех перечисленных фракций (0–5) состояли из низкомолекулярных субъединиц с ММ от 10 до 12,5 kDa (Табл.1).

Таблица 1

Величины молекулярных масс нативных и денатурированных молекул гемоглобинов *Ch. plumosus*.

Тип электрофореза	Электрофоретические фракции гемоглобина				
	0-я	1-я	2-я	3-я	4-5-я
Градиент концентраций ПААГ (5–40%)	134	45	32	22	17
Электрофорез в ПААГ с 8М мочевиной	360	207–250 (2 комп.)	130–230 (3 комп.)	180 100 60	100 60 43 24
SDS-электрофорез	12,3	12,5	11	11,3	12
			12,4	(несколько субъединиц с близкими значениями ММ)	11
					10

Близкие значения ММ субъединиц (10; 11; 11,3; 12; 12,3; 12,4; 12,5) невозможно объяснить ошибкой расчетов величин ММ, так как на двухмерных и одномерных SDS-электрофореграммах белки были представлены дискретными компонентами (Рис.2).

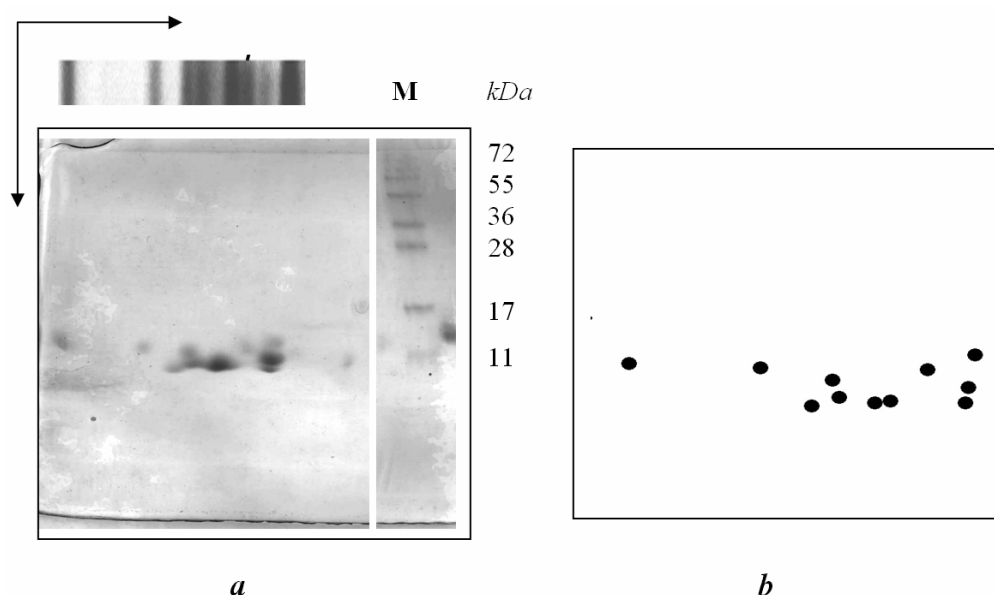


Рис..2. Двухмерный электрофорез гемоглобина *Ch. plumosus*: *a* – SDS-электрофорез, *b* – схема SDS – электрофореза. Горизонтальная стрелка обозначает направление диск-, вертикальная – SDS-электрофореза. М – маркеры из набора PageRulerTM Prestained Protein Ladder Plus (Fermentas) с ММ 11, 17, 28, 36, 55, 72, 95, 130, 250 kDa.

В нативных условиях разные субъединицы формируют различные спектры нативных белков (Табл.1). Так, субъединицы 0-й фракции с ММ 12,3 kDa в нативных условиях формируют белок с ММ 134 kDa, агрегирующий в 8М мочеvine в высокомолекулярный комплекс с ММ 360 kDa. Между тем, субъединицы с похожей величиной ММ 12,5 kDa (1-я фракция) в нативных условиях образуют белок с ММ 45 kDa, являющийся, предположительно, тетрамером. В 8М мочеvine этот тетрамер агрегирует в высокомолекулярный комплекс с ММ от 207 до 250 kDa. То же самое можно сказать и о субъединицах с ММ 11 и 11,3 kDa, которые в нативных условиях формируют молекулы с ММ 32 и 22 kDa соответственно, а в 8М мочеvine образуют агрегаты с разными ММ (130–230 и 180 kDa).

Таким образом, гемоглобины *Ch. plumosus* представлены множественными структурными вариантами, среди которых нами выявлены три различных мономерных белка, образованные разными субъединицами (ММ субъединиц около 10, 11 и 12 kDa); один димерный белок, образованный субъединицей с ММ 11,3 kDa; белок-тример, в составе которого выявлены два типа субъединиц (ММ около 11 и 12,4 kDa); тетрамерный белок, образованный субъединицами одно-

го типа (ММ около 12,5 kDa) и высокомолекулярный белок, в составе которого выявлены субъединицы одного типа (12,3 kDa). Описанные нами белки-мономеры, димеры, тримеры, тетрамеры и высокомолекулярный гемоглобин по-разному ведут себя в 8М мочеvine. Только два мономерных белка (13 и 17 kDa) в присутствии мочевины агрегируют в небольшие молекулы (24 и 43 kDa), все остальные белки агрегируют в высокомолекулярные комплексы с разной степенью агрегации.

### Выводы

1. Выявлен высокий уровень разнообразия нативных молекул гемоглобина и входящих в его состав субъединиц *Ch. plumosus*.
2. Среди структурных форм гемоглобинов *Ch. plumosus* присутствуют белки-мономеры, димеры, тримеры, тетрамеры и высокомолекулярные формы.

### Литература

- Алякринская И.О., 1979. Гемоглобины и гемоцианины беспозвоночных. Биологические адаптации к условиям среды. М.: Наука. с.155.
- Андреева А.М., 2008. Структурно-функциональная организация белков крови и некоторых других внеклеточных жидкостей рыб. Автореф. дис. докт. биол. наук. М.: МГУ.
- Маурер Г., 1971. Диск-электрофорез. Теория и практика электрофореза в полиакриламидном геле. Пер. с немецкого. М.: Мир. 247 с.
- Проссер Л., 1977. Сравнительная физиология животных. Т.2. Пер. с английского. М.: Мир. 572 с.
- Топунов А.Ф., Петрова Н.Э., 2001. Гемоглобины: эволюция, распространение и гетерогенность // Успехи биологической химии. Т.41. с. 199–228.
- Уайт А., Хендлер. Ф., 1981. Основы биохимии: в 3-х томах. Т.3. Пер. с англ. М.:Мир.
- Braunitzer G., 1971. Die Polygenie der Hamoglobine (Erythrocrurine) der Chironomiden. Limnologika (Berlin). Т.8. N.1. P.119–124.
- Laemmli U.K., 1970. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage // Nature (Gr.Brit.). 4. Vol.227. №5259. P. 680–685.
- Rishi D., 1996. Hemoglobin in *Chironomus ramosus*: an electrophoretic study of polymorphism, development sequence and interspecific relationship. Hydrobiologia. Т.318, P.43–50.
- Schmidt E.R., Keyl H.-G., 1988. In situ localization of two haemoglobin gene clusters in the chromosomes of 13 species of *Chironomus* // Chromosoma (Berl). Т.96. P.353–359.
- Tichy H., 1975. Nature genetic basis and evolution of the hemoglobin polymorphism in *Chironomus*. J. Mol.Evol. Т.6. P.39–50.
- Tichy H., 1981. studies on the evolutionary relationships between hemoglobins in *Chironomus pallidivittatus* and *Ch. tentans*. J. Mol. Evol. Т.18. P.9–14.
- Weber R., 1980. Function of invertebrate Hemoglobins with special reference to adaptations to environmental hypoxia // American zoologist. Т.20. №1. P.79 – 101.

### FEATURES OF STRUCTURAL ORGANISATION HAEMOGLOBIN *CHIRONOMUS PLUMOSUS* L.

V.V. Bolshakov, A.M. Andreeva

Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Russia  
e-mail: victorb@ibiw.yaroslavl.ru

Hemolymph of the fourth instar larvae of *Chironomus plumosus* (Linnaeus, 1758) have 10 – 12 electrophoretically different fractions of haemoglobins. The natives molecules of haemoglobin are presented by multiple structural variants: by monomers with the MW of 13 & 17 kDa; by dimers with the MW about 22 kDa, consists of two subunits about 11,3 kDa; by trimers with the MW about 32 kDa, consists of three subunits with different MW (11 & 12,4 kDa); by tetramers with the MW about 45 kDa, consists of equal subunits 12,5 kDa, and high molecular protein with MW about 134 kDa, consists of equal molecules 12,3 kDa. Listed haemoglobin structural variants have different surface structures: in the presense of 8M urea only two monomeric proteins (with the MW 13 and 17 kDa) aggregate into small molecules (24 and 43 kDa), all other proteins aggregate in high molecular-complexes with varying degree of aggregation (from 60 to 360 kDa).

## КАРИОФОНДЫ ПОПУЛЯЦИЙ *CHIRONOMUS PLUMOSUS* L. (DIPTERA, CHIRONOMIDAE) В ПРИБРЕЖЬЕ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И ЕГО ПРИТОКАХ.

В.В. Большаков, Н.А. Шобанов

Учреждение Российской академии наук Институт биологии внутренних вод  
им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Ярославская обл., Россия  
e-mail: victorb@ibiw.yaroslavl.ru

Изучение цитогенетической структуры популяций *Chironomus plumosus* L. в Рыбинском водохранилище и в соседних с ним водоемах позволили прийти к заключению о существовании условно называемых «волжских» и «прудовых» кариоформ, – все личинки, обитающие в русловой части Рыбинского водохранилища характеризовались наличием последовательности В2 [в соответствии со стандартом Максимовой (1976)], а личинки из окрестных прудов имели только гомозиготы В1.1. Отсутствие переходных форм объяснялось аллохронией жизненных циклов, обусловленных различиями в глубине и температурном режиме исследованных биотопов (Шобанов, 1994в). Однако, в акватории водохранилища и в его притоках есть местообитания *Ch. plumosus* с промежуточными характеристиками – с небольшими глубинами, как в прудах, и с гидрологическим и гидрохимическим режимами, близкими к русловой части водохранилища. Что бы выяснить, имеется ли генетический обмен между «водохранилищными» и «прудовыми» кариоформами, были исследованы кариофонды популяций *Ch. plumosus*, обитающих в таких «промежуточных» биотопах.

Изучены личинки IV возраста из трех природных популяций:

«Пятачок» – Рыбинское водохранилище, окрестности пос. Борок, выход из портового канала (N58 02 10.4; E38 15 51.4). Глубина 6–12 м (глубина отбора пробы в данной точке варьировала в зависимости от степени наполнения водохранилища и местоположения закоренного судна, подверженного ветровому сносу). Грунт: черный ил с раковинами дрессены. Даты сбора: 14.06.2007, 28.06.2007, 02.07.2007, 13.09.2007, 05.06.2008, 03.07. 2008.

«Заручье» – р. Ильдь, окрестности д. Заручье (около 500 м до впадения р. Ильдь в р. Сутка) (N58 01 07.6; E38 14 34.6). Глубина 0,5 – 1,5 м. Грунт: ил с песком, кирпичная крошка. Дата сбора: 06.09.2007.

«Пропась» – р. Ильдь, около 1 км вверх по течению от д. Заручье (окрестности д. Пропась) (N58 00 11.5; E38 14 23.3). Глубина 1,5 – 2,5 м. Грунт: ил, песок. Даты сбора: 28.06.2007, 18.10.2007.

Личинок фиксировали в смеси спирта с ледяной уксусной кислотой в соотношении 3:1. Фазу развития и пол определяли по строению имагинальных дисков (Wülker, Götz, 1964). Установление последовательностей дисков в хромосомах осуществляли по модернизированной системе Максимовой (Максимова, 1976; Шобанов, 1994а). Инверсионные варианты хромосомных плеч обозначали по: Шобанов, 1994б. Координаты исследованных биотопов определяли при помощи спутниковой навигационной системы GPS.

Всего выявлено 15 последовательностей (табл.), из которых одна (В3) впервые описана для исследуемого вида (*plu* В3 13а-15f.23е-17с.23z-23f.15g-17b.24а-25s), обнаружено 19 зиготических сочетаний плеч (табл.).

На всех трех станциях обнаружены как «прудовые», так и «водохранилищные» кариоформы. Лишь в одной пробе на станции «Пропась» отсутствовали особи в последовательностью В2.

Двухлетние наблюдения на станции «Пятачок» показали, что соотношения этих кариоформ претерпевают значительные изменения без каких-либо видимых закономерностей. При этом не отмечено зависимости возрастной структуры от кариоформы. Следовательно, большинство личинок обеих кариоформ выходили из кладок, отложенных в один и тот же период. В случае только иммиграционного происхождения личинок возрастная структура кариоформ была бы различна, поскольку в прудах вылет происходит значительно раньше (примерно на месяц), чем в русловой части водохранилища. Однако, значительные вариации соотношения «прудовых» и «водохранилищных» кариоформ в изученных биотопах свидетельствует, вероятно, о нестабильности взаимоотношений их адаптивной системы с данными условиям обитания.

Частота встречаемости (%) зиготических сочетаний в изученных пробах \*

Зиготич сочет-я Пробы	A11	A12	A13	A14	A22	B11	B12	B22	B23	C11	C12	C22	D11	D12	D13	D22	D15	E11	E12	E22	F11	F12	Кол-во особей в пробе
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	71		29			6	18	71	6	65	35		94	6				82	18		82	18	17
2	69	3	28			66	31	3		59	41		83	17				97	3		100		61
3	41		53	6		12	6	82		82	18		100					76	24		100		43
4	50		50			75	25			50	50		50	25	25			100			100		15
5	69	4	23	4		12	27	62		42	58		69	31				85	15		100		49
6	35	10	55			10	35	55		55	42	3	77	23				97	3		100		49
7	67	17	17			33	17	50		33	67		67	17		17		83	17		83	17	6
8	100					100				60	40		80			20		100			100		11
9	40	20	40			40	20	40		60	40		80	20				100			100		28
10	69	28				100				23	56	21	95	5				100			100		61
11	47	3	41	9			17	83		56	36	7	80	19			7	67	29	5	100		150

\*Станции: «Пятачок» - (П), «Заручье» - (З), «Пропасть» - (Пр).

Расшифровка проб: 1 - 14.06.2007 (П), 2 - 28.06.2007 (П), 3 - 02.07.2007 (П), 4 - 13.09.2007 (П), 5 - 05.06.2008 (П), 6 - 03.07.2008 (П), 7 - 28.06.2007 (Пр), 8 - 18.10.2007 (Пр), 9 - 06.09.2007 (З), 10 - Февраль 1990 (п. Борок, пруд за гостиницей, по Шобанову, 1994в), 11 - Февраль 1990 (Рыбинское водохранилище, по Шобанову, 1994в).



### Литература

- Максимова Ф.Л., 1976. К вопросу о кариотипе *Chironomus plumosus* (L.) усть-ижорской природной популяции Ленинградской области. // Цитология, Т.18, №10, с. 1264–1269.
- Свирижев Ю.М., Логофет Д.О., 1978. Устойчивость биологических сообществ. М.:Наука.352 с.
- Шобанов Н.А., 1994а. Кариофонд *Chironomus plumosus* (L.) (Diptera, Chironomidae). I. Стандартизация дисков политемных хромосом в системе Максимовой. // Цитология, Т.36, №1, с. 117–122.
- Шобанов Н.А., 1994б. Кариофонд *Chironomus plumosus* (L.) (Diptera, Chironomidae). II. Инверсионные варианты хромосомных плеч. // Цитология, Т.36, №1, с. 123–128.
- Шобанов Н.А., 1994в. Кариофонд *Chironomus plumosus* (L.) (Diptera, Chironomidae). IV. Внутри и межвидовой полиморфизм // Цитология, т.36, №11, с. 1129–1144.
- Wülker V., Götz P., 1964. Die Verwendung der imaginalscheiben zur bestimmung des entwicklungszustandes von Chironomus-Larven (Diptera) // Zschr. Morphol. Bd. 62. S. 362–388.

### POPULATIONS CARYOFUNDS OF *CHIRONOMUS PLUMOSUS* L. IN SHALLOW AREAS RYBINSK RESERVOIR AND IT INFLOWS

V.V. Bolshakov, N.A. Shobanov

Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Russia  
e-mail: victorb@ibiw.yaroslavl.ru

Many years research of cytological structure of *Chironomus plumosus* L. population in Rybinsk reservoir and nearest ponds revealed the presense «ponds» and «Volga» caryoforms. The lack of transitional forms was due allochronic life cycles associated with the terms of the habitat (Shobanov, 1994v).

To detect genetic exchange between «pond» and «Volga» populations of *Ch. plumosus* were investigated reservoirs with intermediate characteristics, with a depth of ponds, and hydrochemical characteristics close to the the Volga. We study the fourth instar larvae of the three natural populations. At all stations was found «pond», and «Volga» caryoforms. At one of station, was observed a significant change in the ratio caryoforms.

Total found 15 sequences, of which one (B3), first described for the studied species (plu B3 13a-15f.23e-17c.23z-23f.15g-17b.24a-25s), and found 19 zygotic combinations.

### ТКАНЕСПЕЦИФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АКТИВНОСТИ ГЛУТАТИОН-S-ТРАНСФЕРАЗЫ У СИГОВ

Е.В. Борвинская, Л.П. Смирнов, И.В. Суховская

Учреждение Российской академии наук Институт биологии  
Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск, Россия  
e-mail: suhovskaya@krc.karelia.ru

Состояние водных экосистем в большей степени, чем наземных, зависит от факторов среды, потому что гидробионты особо чувствительны к нарушению ее химического состава. Рыбы, в отличие от других представителей обширной группы обитателей водных пространств, являются наиболее удобными объектами в исследованиях, позволяющих установить степень влияния на живой организм различных факторов, в том числе, обладающих токсическими свойствами (Немова, Высоцкая, 2004). Они интегрируют неблагоприятные эффекты комплекса различных воздействий, имеют достаточно большие размеры и продолжительность жизни, обладают резистентностью к сублетальным воздействиям различных веществ, могут быть использованы для прогноза изменений в водных средах (Кашулин, 2000; Немова, 2005).

В настоящее время непрерывно растет список работ по изучению влияния различных факторов среды, главным образом, антропогенного происхождения, на активность GST у гидробионтов. Тем не менее, в научном сообществе до сих пор не выработано единого мнения и ведется активная дискуссия о целесообразности использования GST как биомаркера загрязнения водной среды (Mdegela et al., 2006a;b; Stephensen et al. 2000). Это связано с тем, что в некоторых экспериментах по воздействию ксенобиотиков на гидробионтов не было отмечено достоверных изменений актив-

ности фермента, или полученные результаты были противоречивы (van der Oost et al. 2003; Porte et al. 2002; Sanchez et al. 2005; Filho et al. 2001, Krca et al., 2007). С другой стороны, свойства, изоферментный состав и принадлежность к той или иной группе у представителей семейства GST, выявленных у рыб, до сих пор практически не изучены, хотя исследования в этой области могли бы внести вклад в разрешение споров о применимости GST как биомаркера и понимание причин противоречивости получаемых разными авторами результатов (Blanchette et al., 2007; Vieira et al., 2008).

При использовании глутатион-S-трансфераз в качестве молекулярных биомаркеров необходимо учитывать, что в зависимости от объекта исследования на активность GST могут оказывать влияние некоторые факторы, не соотносящиеся с химическим загрязнением. В частности, определенная вариабельность показателей активности у различных видов гидробионтов может быть обусловлена физиологическими изменениями, связанными с годовым циклом, половой принадлежностью, возрастной динамикой и органоспецифичностью фермента (Кореска, Pempkowiak, 2008; Ruus et al., 2002; Napierska et al., 2005; 2006). Поэтому для каждого отдельного вида – индикатора необходимо учитывать естественную вариабельность GST в природной среде для более корректной диагностики стрессового воздействия.

Для оценки возможности использования глутатион-S-трансферазы как одного из показателей состояния гидробионтов нами была исследована активность GST в органах сига (*Coregonus lavaretus pallasii*) из экологически чистой природной зоны Карелии. Половозрелые сиги (возраст от 4 до 8 лет) были отловлены в августе 2008 в озере Тумасозеро (бассейн Белого моря, Карелия), которое по причине слабой заселенности площади водосбора характеризуется отсутствием антропогенного загрязнения.

Анализ полученных результатов показал отсутствие зависимости между возрастом рыб (от 4 до 8 лет) и активностью GST. Значительное влияние (рис.1) на активность оказывает половая принадлежность рыб и органная специфичность.

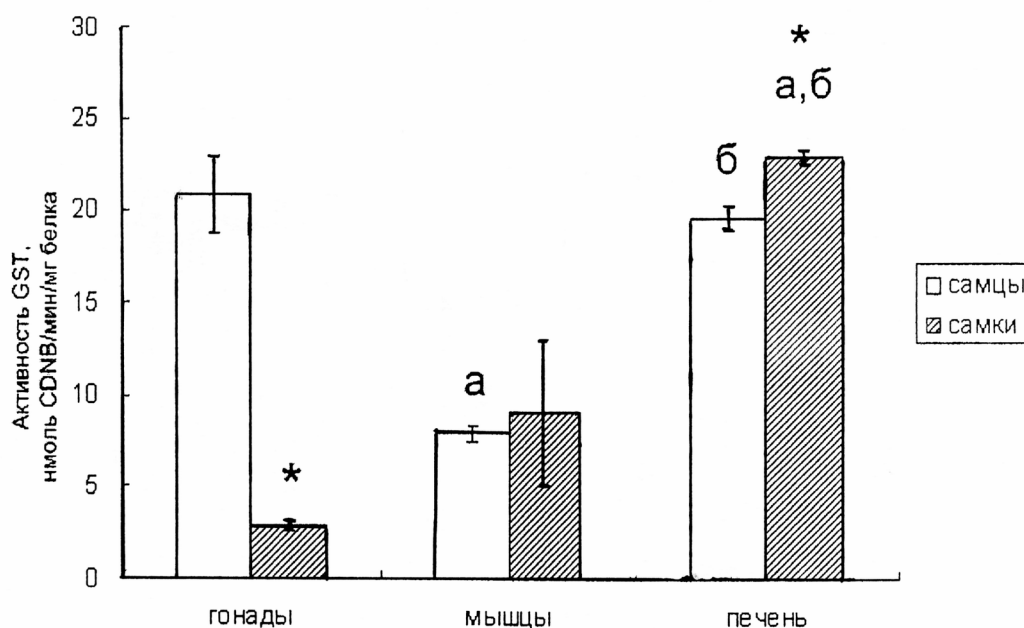


Рис. 1. Влияние органной и половой специфичности на относительную активность глутатион-S-трансферазы

По величине активности GST органы сига можно расположить в следующем порядке: печень > мышцы > гонады. Разные уровни активации фермента, прежде всего, определяются особыми детоксификационными требованиями различных тканей. В печени, как в главном органе детоксификации, через который проходят основные потоки ксенобиотиков поступающих в организм, была отмечена максимальная активность фермента. Гонады и мышцы сига имеют более низкие значения активности GST, что свидетельствует о слабом участии в метаболизме вредных веществ и низком окислительном статусе этих тканей.

Значительные половые различия были выявлены нами в печени и гонадах сига. Увеличение относительной активности GST в печени самок сига (и более чем двукратное увеличение активности в расчете на сырой вес ткани) может свидетельствовать о более значительном адаптационном потенциале и, соответственно, большей устойчивости самок по сравнению с самцами к хроническому воздействию загрязнителей.

Заметное падение относительной активности GST (в 2,2 раза) на фоне значительного повышения общего содержания белка наблюдается в гонадах самок по сравнению с самцами. Вероятно, это связано с тем, что обмен веществ в созревающей икре направлен в сторону активного накопления питательных белков, тогда как другие пути метаболизма значительно замедляются. В свою очередь, повышенная активность GST в гонадах самцов свидетельствует о высоком уровне синтетических процессов в этих тканях, что может сопровождаться активной продукцией эндогенных метаболитов. Также можно предположить, что благодаря наличию прочной оболочки у икринок, снижается потребность половых продуктов самок в защите от негативного воздействия чужеродных веществ.

Таким образом, нами была дана характеристика активности фермента глутатион-S-трансферазы у вида, встречающегося на территории Карелии – сига (*Coregonus lavaretus pallasii*). Была выявлена органная и половая специфичность активности фермента. Полученные данные в дальнейшем могут быть использованы для оценки экологических ситуаций в водоемах и прогноза их дальнейших изменений.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ «Ведущие научные школы Российской Федерации» – 306. 2008.4; программа фундаментальных исследований ОН РАН «Биологические ресурсы России: оценка состояния и фундаментальные основы мониторинга – 2009–2011» .

#### Литература

- Кашулин Н.А., 2000. Ихтиологические основы биоиндикации загрязнения среды тяжелыми металлами: Автореф. дис. ...д-ра биол. наук. Петрозаводск. 42 с.
- Немова Н.Н., Высоцкая Р.У. 2004. Биохимическая индикация состояния рыб. М.: Наука. 215 с.
- Немова Н.Н., 2005. Биохимические эффекты накопления ртути у рыб. М.: Наука. 164 с.
- Blanchette B., Feng X., Singh B.R., 2007. Marine Glutathione S-Transferases // Mar. Biotechnol. V. 9 № 5. P. 513–542.
- Filho D.W., Torres M.A., Tribess T.B., Pedrosa R.C., Soares C.H.L., 2001. Influence of season and pollution on the antioxidant defenses of the cichlid fish acará (*Geophagus brasiliensis*) // Braz. J. Med. Biol. Res. V. 34. P. 719–726.
- Krca S., Zaja R., Calić V., Terzić S., Grubesić M.S., Ahel M., Smital T., 2007. Hepatic biomarker responses to organic contaminants in feral chub (*Leuciscus cephalus*) – laboratory characterization and field study in the Sava River, Croatia // Environ. Toxicol. Chem. V. 26. № 12. P. 2620–2633.
- Mdegela R.H., Myburgh J., Correia D., Braathen M., Ejobi F., Botha C., Sandvik M., Skaare J.U., 2006a. Evaluation of the gill filament-based EROD assay in African Sharptooth Catfish (*Clarias gariepinus*) as a monitoring tool for waterborne PAH-type contaminants // Ecotoxicology. V. 15. P. 51–59.
- Mdegela R.H., Braathen M., Correia D., Mosha R.D., Skaare J.U., Sandvik M. 2006b. Influence of 17 $\alpha$ -ethynylestradiol on CYP1A, GST and biliary FACs responses in male African sharptooth catfish (*Clarias gariepinus*) exposed to waterborne Benzo[a]Pyrene // Ecotoxicology. V.15. № 8. P. 629–637.
- Napierska D., Podolska M., 2005. Biomarkers of contaminant exposure: results of a field study with flounder (*Platichthys flesus*) from the southern Baltic Sea // Mar. Pollut. Bull. V. 50. № 7. P. 758 – 767.
- Porte C., Escarpín E., García de la Parra L.M., Biosca X., Albaigés J., 2002. Assessment of coastal pollution by combined determination of chemical and biochemical markers in *Mullus barbatus* // Mar. Ecol. Prog. Ser. V. 235. P. 205–216.
- Sanchez W., Palluel O., Meunier L., Coquery M., Porcher J.-M., Aït-Aïssa S., 2005. Copper-induced oxidative stress in three-spined stickleback: relationship with hepatic metal levels // Environ. Toxicol. Pharmacol. V. 19. P. 177–183.
- Stephensen E., Svavarsson J., Sturve J., Ericson G., Adolfson-Erici M., Förlin L., 2000. Biochemical indicators of pollution exposure in shorthorn sculpin (*Myoxocephalus scorpius*), caught in four harbours on the southwest coast of Iceland // Aquat. Toxicol. V. 48. P. 431–442.
- van der Oost R., Beyer J., Vermeulen P.E., 2003. Fish Bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review // Environ. Toxicol. Pharmacol. V. 13. P. 57–149.
- Vieira L.R., Sousa A., Frasco M.F., Lima I., Morgado F., Guilhermino L., 2008. Acute effects of Benzo[a]pyrene, anthracene and a fuel oil on biomarkers of the common goby *Pomatoschistus microps* (*Teleostei, Gobiidae*) // Sci. Total. Environ. V. 395. № 2–3. P.87–100.

# ВЛИЯНИЕ СЕЗОННО-ЦИКЛИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ДОЛГОТЫ СВЕТОВОГО ДНЯ НА ЧИСЛЕННОСТЬ И СОСТАВ ПОПУЛЯЦИИ *POLYPHEMUS PEDICULUS* (CRUSTACEA: CLADOCERA)

Л.Г. Буторина

Учреждение Российской академии наук Институт биологии внутренних вод  
им. И.Д. Папанина РАН, Борок, Ярославская обл., Россия  
e-mail: butorina@ibiw.yaroslavl.ru

*Polyphemus pediculus* (L.) Müller относится к числу наиболее широко распространенных Cladocera северной и средней полосы Северного полушария (Буторина, 1990). Он обитает в пресных и слабосоленых водоемах, предпочитает мелководья. В любом водоеме мира *P. pediculus* появляется в планктоне ранней весной и исчезает поздней осенью (Буторина, 2003).

Локальные популяции вида разделены на ряд четко очерченных эквипотенциальных стай, число и местоположение которых в водоеме строго постоянно не только на протяжении одного, но ряда вегетационных сезонов (Буторина, 1990). Стаи представляют собой целостные взаимосвязанные организации. Их размер, форма, состав, численность и поведение особей непостоянны, непрерывно меняются на протяжении суток и вегетационного сезона. Изменения носят циклический характер, совершаются синхронно во всех стае локальной популяции (Буторина, 1990).

Из литературных источников известно, что долгота светового дня оказывает влияние на интенсивность, форму размножения, пол вынашиваемых зародышей, состав и численность популяций беспозвоночных и позвоночных животных (Винберг, 1936; Данилевский, 1961; Наумов, 1963; Одум, 1975; Lajus, Alekseev, 2004). Однако характер и влияние фотопериода на гидробионтов в большинстве случаев остаются без внимания при исследовании динамики численности видов в естественных условиях.

Цель данной работы состояла в определении зависимости и степени воздействия естественных сезонно-циклических изменений долготы светового дня и температуры среды на численность, демографический состав, форму размножения и состояние популяции *P. pediculus* в течение вегетационного сезона.

## Материал и методика исследований

Сбор зоопланктона производили в одних и тех же эквипотенциальных стаях локальной популяции *P. pediculus*, обитающей в прибрежье Рыбинского водохранилища у п. Борок Ярославской области. Отбор проб осуществляли мерным 10-литровым ведром из двух стай, расположенных на глубине 30 – 45 см в 3 м друг от друга. Из каждой стаи отбирали по 100 л воды, которую пропускали через планктонную сетку (мельничный газ №86). Собранный зоопланктон выливали в банку и фиксировали 4% раствором формалина. Отбор проб осуществляли с первой декады мая до конца сентября через каждые 2 – 4 дня. За месяц собирали по 7 – 17 проб, а за вегетационный сезон – 60 (табл.). Замер температуры воды производили в поверхностном слое стай.

Разбор проб, просмотр зоопланктона и подсчет особей *P. pediculus* производили стандартным методом под бинокуляром МБС-1 в камере Богорова при увеличении  $8 \cdot 2$  и  $8 \cdot 4$ . Собранную пробу переливали из банки в мерный стакан, отмечали ее объем. Из мерного стакана отбирали по три штемпель-пипетки объемом  $5 \text{ см}^3$  каждая либо просматривали пробу целиком. При обработке отмечали пол и возраст рачков.

Данные по численности отдельных типов особей и общего количества рачков, полученные в каждой пробе, рассчитывали на  $1 \text{ м}^3$ . Полученные величины подвергли статистической обработке согласно методу вариационного и корреляционного анализов (Лакин, 1973). В результате были определены среднемесячные арифметические значения, их ошибки, квадратичные отклонения, коэффициенты вариации и попарной корреляции численности рачков с температурой среды и продолжительностью светового дня за каждый месяц и в целом за вегетационный сезон для данной локальной популяции. Вычисленные среднемесячные данные отображены в ряде диаграмм, построенных с помощью программ Microsoft Excel 2003 (рис. 1 – 5).

### Результаты исследований

Первое поколение активных особей популяции *P.pediculus* состоит из неполовозрелых и взрослых партеногенетических самок, вышедших из покоящихся яиц, как у всех Cladocera с эмбриональной диапаузой (Жукова, 1953; Хмелева, 1985; Буторина, 2005). Они появляются в водоемах средней полосы России в конце апреля – в первой декаде мая при световом дне 14–15 час/сут, температуре воды 2–8<sup>0</sup>С и отрождают партеногенетические пометы (Буторина, 1999). При возрастающем световом дне и низкой температуре среды популяция состоит только из партеногенетических самок разного возраста и поколений, развивающихся как из покоящихся, так и субитанных яиц. При долготе светового дня около 16 час/сут партеногенетические самки 2–3 поколения начинают производить, кроме того, разнополые и смешанные субитанные пометы, состоящие из партеногенетических, гамогенетических самок и самцов в разных соотношениях (Буторина, 1999). Демографический состав популяции достигает максимального разнообразия и остается неизменным почти до конца сентября, когда световой день снижается до 11–12 час/сут (рис.1). При долготе дня около 10 час/сут и низкой температуре среды популяция состоит из двух типов особей: гамогенетических самок и самцов разного возраста (Буторина, 1997). При дальнейшем снижении дня в ней остаются только гамогенетические самки с покоящимися яйцами (Butorina, 2000). С их гибелью после откладки яиц заканчивается период активной жизнедеятельности популяции.

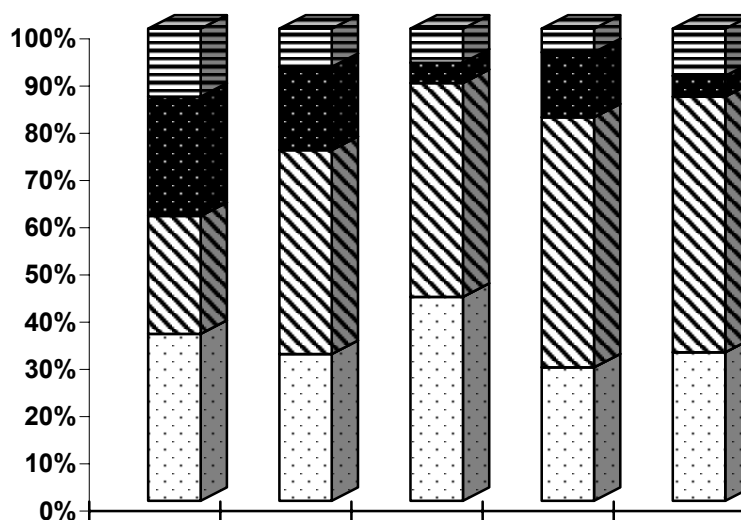


Рис. 1. Влияние долготы светового дня на демографический состав популяции.

Долгота светового дня влияет на пол отрождаемой молодежи *P.pediculus*, также как и других членистоногих (Данилевский, 1961; Lajus, Alekseev, 2004). При световом дне, возрастающем с 15 до 17,5 час/сут и температуре среды 12–23<sup>0</sup>С, новорожденные на 74–78% состоят из партеногенетических самок (рис.2). При снижении долготы дня на 2–2,5 час/сут, но сохранении оптимального для вида температурного диапазона производство партеногенетических самок сокращается. В августе новорожденные на 56–60% состоят из разнополых особей. Гамогенетических самок родится приблизительно столько же, сколько и партеногенетических. При световом дне 12 и менее час/сут и низкой температуре производство партеногенетических самок снижается в 36 раз, самцов в 11–12, а гамогенетических самок в 2,5 – 3 раза. В сентябре новорожденные на 71 – 73% состоят из разнополых особей. Гамогенетических самок родится в 2,5 – 3 раза больше, чем самцов и в 1,5 – 2 раза больше, чем партеногенетических самок.

Численность популяции растет вместе с увеличением долготы светового дня и температуры среды (рис.3). Она достигает максимальной величины при световом дне снижающемся в июле до 17 час/сут и наибольшем прогреве воды (рис.3). При долготе дня выше или ниже на один час и более низкой температуре среды популяция содержит на 30 – 35% рачков меньше. При снижении светового дня на 2 – 2,5 часа и оптимальном для вида температурном диапазоне численность *P.pediculus* сокращается на 74 – 79%. Популяция в августе равна 1/4 июльской.

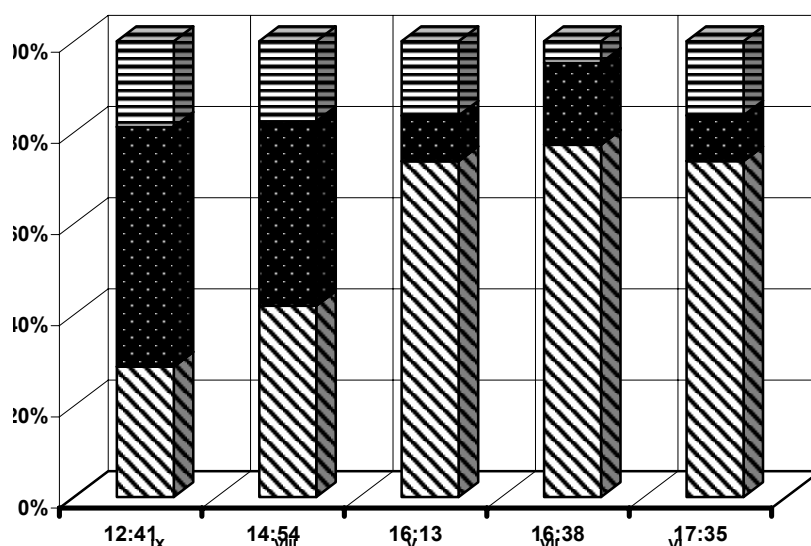


Рис. 2. Половой состав новорожденных рачков при разной длительности дня

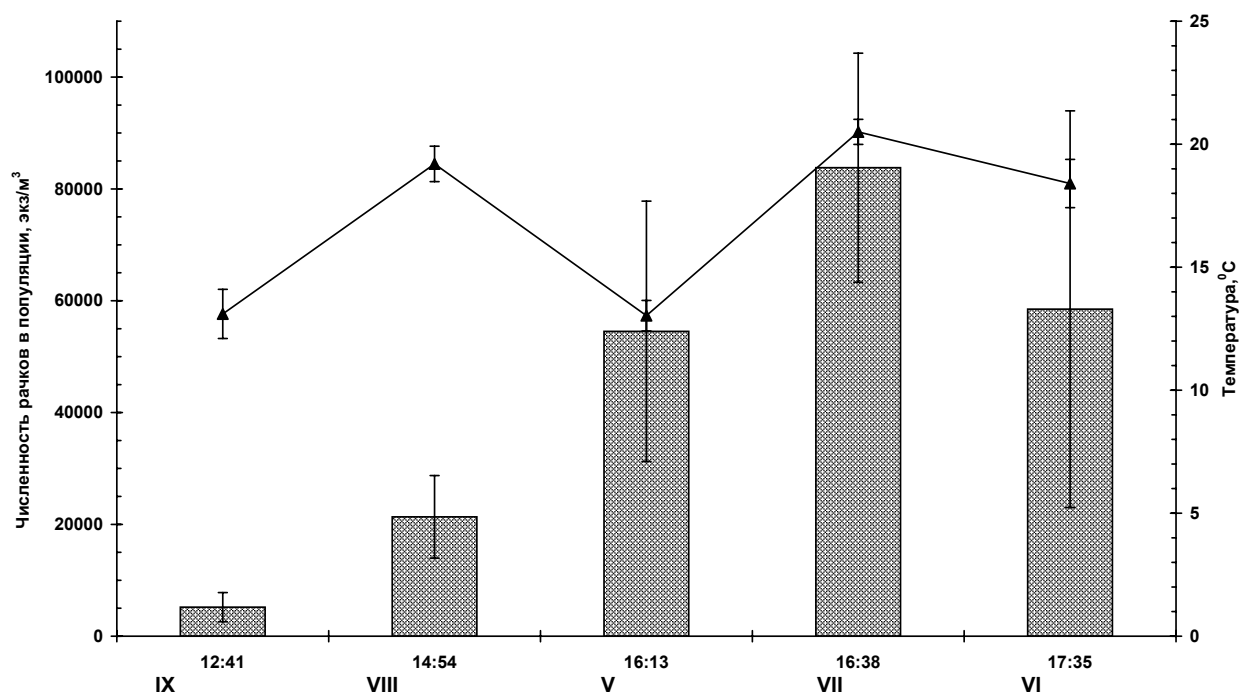


Рис. 3. Сезонно-циклическое изменение численности популяции

К осени световой день сокращается на 4–5 час. Температура среды снижается на 6–7<sup>0</sup> С и становится равной весенней (рис.3). Численность популяции в сентябре при световом дне 10–12 час/сут и температуре среды  $13,1 \pm 1,0^0$  С снижается в 10–11 раз по сравнению с майской и в 12–16 с июльской. Популяция содержит на 91–96% рачков меньше и составляет 1/10– 1/17 часть популяции, находившейся на данном месте при долготе дня 16–17,5 час/сут в мае-июле.

Численность отдельных типов особей в популяции колеблется на протяжении вегетационного сезона вместе с сезонно-циклическими изменениями долготы светового дня и температуры среды (рис.4). Рачки разного пола и возраста достигают максимального количества при разных условиях среды. Новорожденные имеют наибольшую численность при возрастающем световом дне около 16 час/сут и среднемесячной температуре  $13 \pm 0,6^0$  С, самцы – при максимальной долготе дня и  $18,4 \pm 1,0^0$  С, а самки – при световом дне сократившемся на один час от максимального и наибольшем прогреве воды. При снижении светового дня на 2–5 часов происходит резкое и быстро нарастающее сокращение численности всех типов особей в популяции, особенно партеногенетических самок (рис.4).

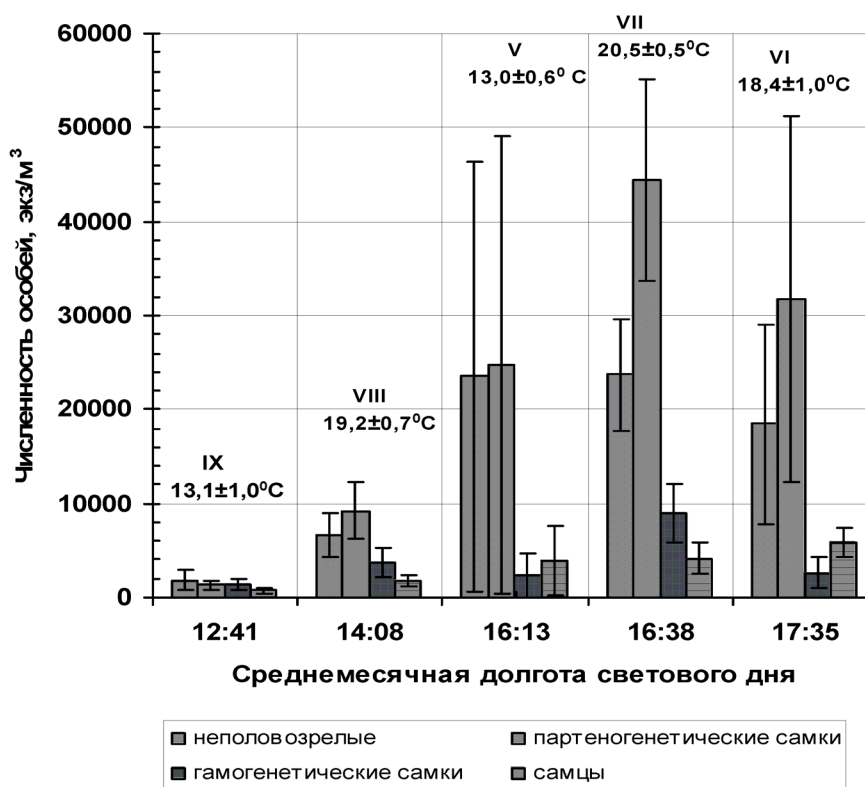


Рис. 4. Численность отдельных типов особей при разной долготе дня

С изменением доминирующего пола отражаемой молодежи и численности отдельных типов особей меняется и их относительное содержание в популяции (рис.1). Наиболее стабильно представлены новорожденные. Они составляют чуть больше или около трети среднемесячной численности популяции на протяжении вегетационного сезона. Доля партеногенетических самок снижается с 1/2 до 1/4 среднемесячной численности популяции, а гамогенетических самок возрастает с 1/25 до 1/4 по мере сокращения долготы светового дня и температуры среды. Самцы наименее представлены в популяции. Они составляют 1/5–1/20 часть. Их относительное содержание возрастает вместе с сокращением светового дня и температуры среды (рис.1).

Таблица

Коэффициенты корреляции (R) численности особей с температурой среды ( $t^0$  C) и долготой светового дня (час/сут).

Месяц	Число проб	$t_{st}$	R, $t \geq t_{st}$ при $p > 95$									
			Неполовозрелые, экз/м <sup>3</sup>		Партеногенетические самки, экз/м <sup>3</sup>		Гамогенетические самки, экз/м <sup>3</sup>		Самцы, экз/м <sup>3</sup>		Популяция, экз/м <sup>3</sup>	
			$t^0$ C	час/сут	$t^0$ C	час/сут	$t^0$ C	час/сут	$t^0$ C	час/сут	$t^0$ C	час/сут
V	8	0,67	-0,20	0,32	-0,20	0,29	-0,20	0,32	-0,20	0,33	-0,20	0,29
VI	14	0,51	0,10	0,36	0,04	0,32	0,03	0,33	0,02	0,34	0,01	0,33
VII	16	0,48	0,33	0,81	0,32	0,87	0,34	0,73	0,15	0,65	0,32	0,85
VIII	14	0,51	0,39	0,51	0,47	0,49	0,35	0,20	0,40	0,55	0,43	0,57
IX	8	0,71	0,45	0,70	0,39	0,79	0,44	0,73	0,11	0,90	0,41	0,77
V - IX	60	0,25	0,11	0,30	0,18	0,35	0,25	0,26	0,07	0,26	0,16	0,34

Проведенный корреляционный анализ показал достоверную прямую зависимость общей численности популяции и отдельных типов особей *P.pediculus* от долготы светового дня (табл). Связь с

температурой среды слабая, недостоверная. Весной, когда идет развитие покоящихся яиц, она носит обратный характер. Значения попарных коэффициентов корреляции варьируют на протяжении вегетационного сезона, возрастая при сокращении долготы светового дня. При нарастающем и наиболее длинном световом дне, когда в популяции доминируют самки с генетически закрепленной плодовитостью и социальное поведение особей выражено в высшей степени, численность *P.pediculus* и его отдельных особей слабо зависят от длительности дня и тем более от температуры среды.

### Обсуждение результатов исследований

Среди экологических факторов, влияющих на рост, развитие и размножение животных, особое значение имеет продолжительность дня (Данилевский, 1961). Ее годовой ход отличается устойчивостью и астрономической точностью и является причиной изменения сезонных климатических условий. Происходящие перемены оказывают воздействие на население планеты как непосредственное, так и опосредованное через температуру среды, питание и другие взаимосвязанные факторы. Фотопериодическая реакция животных относится к числу наиболее общих и важных экологических адаптаций, регулирующих во времени приспособленность к сезонным изменениям других жизненно важных условий.

Долгота дня и направление ее изменения является основным фактором, определяющими численность, состав и сезонно-циклические изменения в популяции *P.pediculus*, как и всех наземных беспозвоночных (Данилевский, 1961). Температура среды воздействует на плотность популяции *P.pediculus* только как опосредованный фактор. Она влияет на темп роста и продолжительность жизни рачков, от которых зависит индивидуальная плодовитость партеногенетических самок, а, следовательно, и численность популяции (Буторина, 1993).

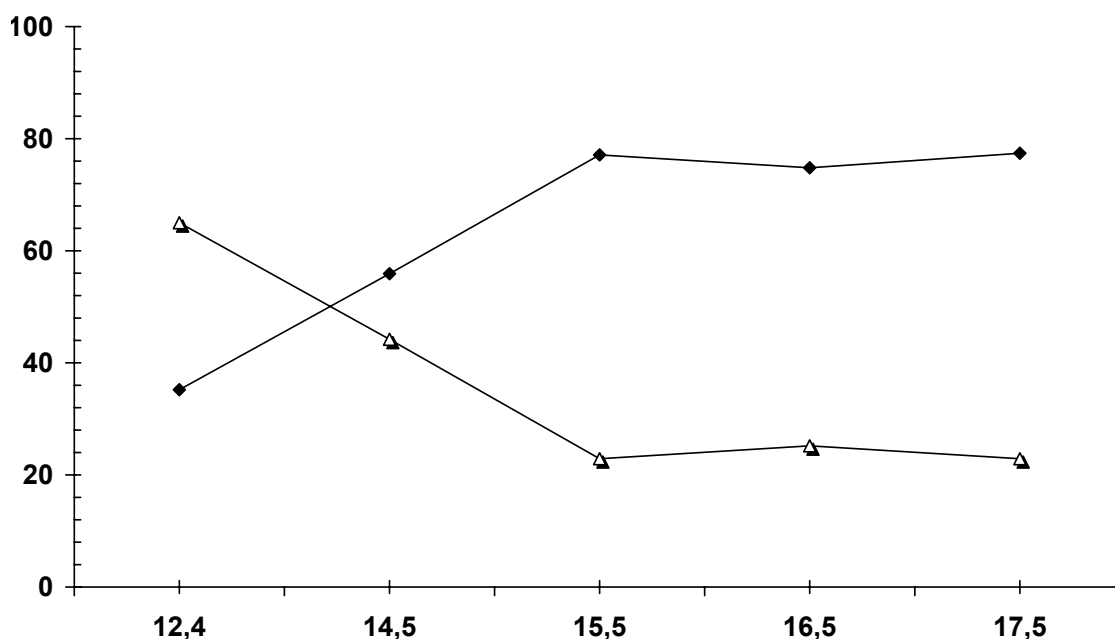


Рис. 5. Развитие популяции при длиннопериодическом типе фотопериодической реакции

Фотопериодическая реакция *P.pediculus* на длительность и характер изменений светлого и темного времени суток в естественных условиях относится к длиннопериодическому типу (рис.5). Он наиболее широко распространен среди видов нашей фауны (Данилевский, 1961). Рост и массовое бездиапаузное развитие популяции *P.pediculus* происходит при возрастающем световом дне длительностью 15 – 17,5 час/сут и продолжительности ночи 6,5 – 9 час/сут. Постепенное увеличение дня усиливает тенденцию к непрерывному развитию *P.pediculus*, нарастанию производства партеногенетических самок и численности популяции (рис.1– 4). Это период наиболее благоприятного существования популяции. Он характеризуется стабильным доминированием партеногенетических самок и стабильно низким содержанием обоеполых особей (рис.5). У *P.pediculus* этот период протекает при узком и строго ограниченном светом



вом интервале, что более характерно для животных с короткодневным и промежуточным типами развития (Данилевский, 1961). Величина светового интервала у *P.pediculus*, несомненно, наследственно закреплена и соответствует условиям благоприятного существования популяции в мелководьях северных и высокогорных водоемов, где проходило становление вида (Буторина, 2005). Массовое бездиапаузное развитие и рост популяции *P.pediculus*, скорее всего, протекает при одной и той же долготе светового дня в водоемах разных географических широт.

При световом дне выше 17,5 и ниже 15 час/сут и темном времени менее 6,5 и более 9 час/сут происходит торможение роста популяции (рис.3–4). Она находится в нестабильном состоянии. Резко снижается численность партеногенетических самок и возрастает содержание обоеполых особей, которые не оказывают существенного влияния на увеличение численности популяции.

Световой день, снижающийся до 14 час/сут, является критическим порогом (рис.5). Он играет решающую роль в регуляции сезонно-циклического развития *P.pediculus* в природе, определяет время массового перехода популяции в состояние покоя. Светлая часть суток длительностью 12 и ниже час/сут и темная 12 и более час/сут составляют период неблагоприятного существования популяции (рис.5) Ее численность незначительна и быстро снижается, доминируют обоеполые особи с коротким жизненным циклом, особенно гамогенетические самки.

### Выводы

1. Численность, демографический состав и соотношение особей в популяции определяются долготой и характером сезонно-циклических изменений светового дня.
2. Отдельные типы особей достигают максимальной численности при разных условиях среды.
3. Развитие популяции соответствует длиннодневному типу фотопериодической реакции.
4. Производство партеногенетических самок и, следовательно, рост популяции, происходит при узком световом диапазоне – 15,5 – 17,5 час/сут. Световой день ниже 15 и выше 17,5 час/сут тормозит развитие. День продолжительностью 14 час/сут является пороговой величиной, началом массового перехода в состояние покоя. При 12 и ниже час/сут, наступает период неблагоприятного существования, быстро сокращается численность и демографический состав популяции.
5. Изменения, происходящие в популяции, носят циклический характер и являются адаптацией к сезонным колебаниям внешней среды.

### Литература

- Буторина Л.Г. Экологические аспекты поведения водных беспозвоночных на примере *Polyphemus pediculus* (L.), Cladocera: Автореф. дис...докт. биол.наук. – М.: МГУ. –1990. –50с.
- Буторина Л.Г. Закономерности размножения ветвистоусых ракообразных пресноводных мелководий // Гидробиол. журн. – 1997. – 33, № 4. – С. 17–32.
- Буторина Л. Г. Сезонная ритмика продуцирования отдельных типов субитанных пометов и продолжительность периода активной жизнедеятельности популяции *Polyphemus pediculus* (Crustacea, Branchiopodiodes) // Гидробиол. журн. – 1999. – 35, № 5. – С. 54–62.
- Буторина Л.Г. Условия развития и выхода молоди из покоящихся яиц *Polyphemus pediculus* (Crustacea: Branchiopodiodes) // Гидробиол. журн. – 2003. – 39, №5. – С. 35–47.
- Буторина Л.Г. Влияние условий периода покоя на ритмику выхода молоди из покоящихся яиц *Polyphemus pediculus* (Crustacea: Branchiopodiodes) // Гидробиол. журн. – 2005. – 41, №1. – С. 16–28.
- Винберг Г.Г. Циклическое размножение Cladocera // Успехи соврем. биологии. – 1936. – 5, – Вып. 1. – С. 201–202.
- Данилевский А.С. Фотопериодизм и сезонное развитие насекомых. Л.: ЛГУ, 1961. – 243 с.
- Жукова Н.А. Цикломорфоз у дафний // Учен. Записки Ленингр. Гос. пед. Ин-т., Факультет Естественн – 1953, – VII, – Вып.3. – С. 85–149.
- Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа. – 1973. – 343 с.
- Наумов Н.П. Экология животных. М. : Высш. Школа. –1963. – 618 с..
- Одум Ю. Основы экологии М. : Мир. – 1975. – 740 с.
- Хмелева Н.Н. Закономерности размножения и генеративная продукция ракообразных. Автореф. дис. ....докт. биол. наук, Киев. – 1985. – 51 с.
- Lajus D. L. and V.R. Alekseev . Phenotypic variation and developmental instability of life-history traits: a theory and a case study on within-population variation of resting eggs formation in *Daphnia* // J. Limnology. – 2004. – 63, – (Suppl.1). – P. 37–44.

## **INFLUENCE OF SEASONALLY-CYCLIC VARIATIONS OF THE DAYLIGHT PERIOD LENGTH OVER THE NUMBERS AND COMPOSITION OF *POLYPHEMUS PEDICULUS* (CRUSTACEA: CLADOCERA) POPULATIONS**

**L.G. Butorina**

Papanin Institute for Biology of Inland Waters of RAS, Borok, Yaroslavl reg., Russia  
e-mail: butorina@ibiw.yaroslavl.ru

In nature *P. pediculus* population numbers, demographic composition and species ratio are governed by the length and the character of the daylight period seasonally-cyclic changes. Different types of individuals display the highest numbers under different environmental conditions. Population development corresponds to a long-term daylight type of Arthropoda photoperiodic reaction. Population growth and mass development without any period of rest occur when the daylight period length increases from 15.5 to 17.5 hours per day. This is the most favourable period of the population existence, during which parthenogenetic females predominate. Beyond these limits of the daylight period length, population total numbers, and especially the numbers of parthenogenetic females, decrease sharply. Population state gets unstable. The daylight period length of 14 hours per day is the critical point. It governs a mass switch to the state of rest. Unfavourable period, during which the population numbers is minimal, and gamogenetic females predominate, starts at daylight period of 12 hours per day or less.

## **ФЛОРА ВОДОЕМОВ И ВОДОТОКОВ ЛЕВОБЕРЕЖЬЯ РЕКИ АЛАТЫРЬ НА ПРИМЕРЕ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «СМОЛЬНЫЙ»**

**Е.В. Варгот**

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск, Россия  
e-mail: vargot@yandex.ru

Согласно ботанико-географическому районированию бассейна реки Суры левобережье Алатыря относится к Бездна-Алатырскому бореальному району (Силаева, 2006). В целом флора бассейна реки Алатырь, как и всей средней России, относится к умеренно бореальному типу. Бореальный характер имеет как флора в целом, так ее гидрофильный компонент. Так, исследования флоры водоемов и водотоков бассейна р. Алатырь с 2004 по 2008 гг. показали, что в левобережье Алатыря в составе гидрофильной группы значительно участие бореальных видов. Наибольшая их концентрация и встречаемость отмечены в левобережной части бассейна среднего течения р. Алатырь. Здесь на территории Ичалковского и Большеигнатовского районов Республики Мордовия располагается национальный парк «Смольный» (НП «Смольный»). Его площадь составляет 36 500 км<sup>2</sup>. Территория парка покрыта хвойно-широколиственными лесами с участием сосны, ели, дуба черешчатого, липы сердцевидной. Данный лесной массив сформировался на водно-ледниковой равнине с абсолютными отметками рельефа 150 – 180 м. Он является продолжением «темниковских» лесов в правобережье Мокши (северо-запад Мордовии), которые тянутся по задровой равнине до верховьев р. Бездны (Чувашская Республика) в ее правобережье. До этих мест доходили потоки талых вод ледника, которые несли с собой массу переработанного песчаного материала. На примере НП «Смольный» рассмотрим характер гидрофильной составляющей флоры левобережной части бассейна р. Алатырь.

К водным объектам НП «Смольный» и его охранный зоны относятся р. Алатырь, ее притоки – малые реки Язовка, Калыша, Иклей, Ашня, Чуварлейка, Раушка, Барахманка и др., многочисленные старицы Алатыря в левобережной пойме (Лопатное, Песчаное, Дубовые озера, Полунзерка, Малая Инерка и др.), разработанные торфяники (урочища «Моховое», «Клюквенное», «Ясли»), переходные и низинные болота, расположенные в притеррасной части поймы Алатыря и ее надпойменных террасах, болота верхового типа и Ельничное озеро со сфагновой сплавиной на водоразделе рек Алатыря и Пьяны, водоем на месте песчаного карьера в 102 кв. Кемлянского лесничества, копаные пруды и запруды, различные мочажины вдоль дорог.

Всего к флоре водных объектов НП «Смольный» отнесено 130 видов сосудистых растений из 65 родов и 36 семейств, что составляет 16,9 % от флоры НП (Силаева и др., 2008) (таблица 1). Из них в группу «водного ядра» входят 49 видов, к прибрежной флоре относятся 81 вид. Соотношение видов, родов и семейств флоры водных объектов парка представлено в таблице 2.

Видовое разнообразие уменьшается в направлении поймы – надпойменные террасы – водораздел. В старицах р. Алатырь и пойменных прудах произрастают 103 вида сосудистых растений. Это связано с оптимальными условиями обитания – минимальным течением и наибольшей прогреваемостью воды, сочетанием мелководий и глубоководных участков. Флора прудов, расположенных на надпойменных террасах, насчитывает 63 вида. Только здесь отмечены *Leersia oryzoides* (L.) Sw., *Scirpus radicans* L., *Elatine hydropiper* L. В реках НП «Смольный» отмечено самое малое количество видов – 38, т. к. быстрое течение и подвижные песчаные грунты не позволяют развиваться водной растительности. Прибрежная растительность также неразвита, т. к. долины рек имеют небольшой возраст и здесь идут активные процессы размывания берегов. Флора р. Алатырь включает 65 видов. Водная флора водоема, возникшего на месте песчаного карьера, представлена 34 видами. Прибрежные растения произрастают по урезу воды, т. к. дальше их не пускают высокие (до 20 м) обрывистые берега. Флора водораздельных озер и торфяников насчитывает 25 видов и отличается произрастанием в них *Sparganium minimum* Wallr. и *Utricularia minor* L.

Таблица 1

**Флора водоемов и водотоков национального парка «Смольный»**

«Водное ядро»		Прибрежная флора	
Отдел <i>Equisetophyta</i>	1 вид	Отдел <i>Equisetophyta</i>	1 вид
Отдел <i>Pteridophyta</i>	-	Отдел <i>Pteridophyta</i>	1 вид
Отдел <i>Magnoliophyta</i>			
Класс <i>Liliopsida</i>	Класс <i>Magnoliopsida</i>	Класс <i>Liliopsida</i>	Класс <i>Magnoliopsida</i>
32 вида	16 видов	37 видов	42 вида
Итого: 49 видов		81 видов	

Таблица 2

**Соотношение видов и родов в семействах флоры водоемов и водотоков НП «Смольный»**

«Водное ядро»			Прибрежная флора		
Семейство	Число родов	Число видов	Семейство	Число родов	Число видов
<i>Potamogetonaceae</i>	1	12	<i>Cyperaceae</i>	4	15
<i>Lemnaceae</i>	2	4	<i>Gramineae</i>	8	10
<i>Hydrocharitaceae</i>	3	3	<i>Juncaceae</i>	1	9
<i>Sparganiaceae</i>	1	3	<i>Polygonaceae</i>	2	6
<i>Typhaceae</i>	1	3	<i>Ranunculaceae</i>	2	4
<i>Ranunculaceae</i>	1	3	<i>Scrophulariaceae</i>	2	4
<i>Alismataceae</i>	2	2	<i>Asteraceae</i>	2	4
<i>Nymphaeaceae</i>	2	2	<i>Umbelliferae</i>	3	3
<i>Callitricheae</i>	1	2	<i>Primulaceae</i>	2	3
<i>Haloragaceae</i>	1	2	<i>Labiatae</i>	2	3
<i>Lentibulariaceae</i>	1	2	<i>Lythraceae</i>	2	2
<i>Equisetaceae</i>	1	1	<i>Rubiaceae</i>	1	2
<i>Najadaceae</i>	1	1	<i>Cruciferae</i>	1	1
<i>Butomaceae</i>	1	1	<i>Equisetaceae</i>	1	1
<i>Ceratophyllaceae</i>	1	1	<i>Thelypteridaceae</i>	1	1
<i>Polygonaceae</i>	1	1	<i>Araceae</i>	1	1
<i>Cruciferae</i>	1	1	<i>Iridaceae</i>	1	1
			<i>Rosaceae</i>	1	1
			<i>Hippuridaceae</i>	1	1
			<i>Menyanthaceae</i>	1	1
<i>Trapaceae</i>	1	1	<i>Boraginaceae</i>	1	1
			<i>Solanaceae</i>	1	1
Итого:	23	44		41	75

По классификации жизненных форм И. Г. Серебрякова основная часть видов относится к длиннокорневищным травянистым поликарпикам и однолетникам. Соотношение жизненных форм в группе «водное ядро» – «прибрежная флора» меняется. В состав флоры водоемов и водотоков НП «Смольный» входят виды, относящиеся к следующим экотипам: I – гидрофиты (36 видов), II – гелофиты (12 видов), III – гигрогелофиты (27 видов), IV – гигрофиты (55 видов).

По принадлежности к долготной группе преобладают виды с голарктическим, евразийским, евросибирским ареалами и плюрирегиональные виды. Большее число видов относится к плюризонным. На втором месте находятся виды бореальной зоны (5 видов из группы «водного ядра», 11 видов прибрежной флоры). Бореальный характер подтверждает присутствие во флоре таких видов как *Thelypteris palustris* Schott, *Sparganium minimum* Wallr., *P. praelongus* Wulf., *Scirpus radicans* L., *Calla palustris* L., *Juncus conglomeratus* L., *Ranunculus flammula* L., *R. kauffmannii* Clerc., *R. lingua* L., *Comarum palustre* L., *Menyanthes trifoliata* L., *Utricularia minor* L. Многие из этих видов являются редкими во флоре Мордовии и сопредельных регионов, но характерны именно для изученной территории. С другой стороны, во флоре парка встречаются такие теплолюбивые виды как *Potamogeton acutifolius* Link, *P. trichoides* Cham. et Schlecht., *Najas major* All., *Lemna gibba* L., *Trapa natans* L. s. l.

Кроме того, в парке встречаются 4 вида заносных растений (*Typha laxmannii* Lepechin, *Elodea canadensis* Michx., *Juncus tenuis* Willd., *Bidens frondosa* L.). Такие виды как *Elodea canadensis* Michx. и *Bidens frondosa* L. являются конкурентоспособными и уже давно внедрились в водные и прибрежные фитоценозы. Местонахождение *Typha laxmannii* Lepechin пока является единственным достоверно известным в Республике Мордовия. *Juncus tenuis* Willd. изредка встречается по сбитым лугам, тропам и влажным просекам.

На территории НП отмечены многие виды из Красной книги Республики Мордовия (2003) *Potamogeton acutifolius* Link (4), *P. gramineus* L. (3), *P. praelongus* Wulf. (3), *Najas major* All. (2), *Ranunculus kauffmannii* Clerc. (3), *R. trichophyllus* Chaix. (3), *Elatine hydropiper* L. (3), Здесь находится одна из самых крупных и устойчивых популяций *Trapa natans* L. s. l. в Мордовии. Из списка редких и уязвимых видов сосудистых растений, нуждающихся в постоянном контроле и наблюдении, здесь произрастают *Sparganium minimum* Wallr., *Scirpus radicans* L., *Calla palustris* L., *Utricularia minor* L. Кроме того, здесь зарегистрированы редкие в волжском бассейне виды *Potamogeton friesii* Rupr., *Lemna gibba* L., *Elatine alsinistrum* L.

Таким образом, флора водоемов и водотоков НП «Смольный» носит бореальный характер, а территория парка является показательным участком характера всего левобережья Алатыря. НП «Смольный» играет значительную роль в сохранении популяций редких видов водных растений.

#### Литература

Силаева Т.Б., 2006. Флора бассейна реки Суры (современное состояние, антропогенная трансформация и проблемы охраны) / Т. Б. Силаева. Дисс. ... д-ра биол. наук. Саранск. 907 с.

Силаева Т.Б., Чугунов Г.Г., Варгот Е. В., Кирюхин И.В., 2008. Список флоры сосудистых растений национального парка «Смольный» // Научные труды Национального парка «Смольный». Вып. 1. Саранск–Смольный. С. 205–233.

Ямашкин А. А., Силаева Т. Б., Альба Л. Д., 2000. Мордовский национальный парк «Смольный». Саранск: Типография «Красный октябрь». 88 с.

Красная книга Республики Мордовия, 2003. В 2 т. Т. 1: Редкие виды растений, лишайников и грибов / Сост. Т. Б. Силаева. Саранск: Мордов. кн. изд-во. 288 с.

#### AQUATIC FLORA OF LEFT PART BASSIN ALATYR RIVER FOR EXAMPLE NATIONAL PARK «SMOLNY»

E. V. Vargot

Mordovian State University, Saransk, Russia

e-mail: vargot@yandex.ru

The article consist of information about nature and aquatic flora in left part basin Alatyry River on territory national park «Smolny».

## ЛОСОСЕВЫЕ НЕРЕСТОВЫЕ РЕКИ ВОСТОЧНОЙ ФЕННОСКАНДИИ

А.Е. Веселов<sup>1</sup>, Д.С. Павлов<sup>2</sup>, К.Р. Приммер<sup>3</sup>, С.М. Калюжин<sup>4</sup>,  
Я.И. Лумме<sup>5</sup>, М.И. Сысоева<sup>1</sup>, М.Ю. Озеров<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Учреждение Российской академии наук, Институт биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск. E-mail: veselov@krc.karelia.ru

<sup>2</sup> Учреждение Российской академии наук, Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН (ИПЭЭ РАН), Москва

<sup>3</sup> Департамент биологии, подразделение генетики и физиологии, Университет Турку, Финляндия

<sup>4</sup> Варзугский научно-исследовательский центр полярных экосистем, Варзуга

<sup>5</sup> Департамент биологии, Университет Оулу, Финляндия.

Территория Восточной Финноскандии относится к Северо-западу России, включает Мурманскую область и Республику Карелия. Здесь сохранилась значительная часть ареала атлантического лосося (*Salmo salar* L.), воспроизводящегося в нерестовых реках бассейнах Баренцева, Белого морей, а также в притоках Ладожского, Онежского и некоторых других озер. Первые систематические исследования по распространению лосося и гидрологическим особенностям рек Северо-запада России были начаты с 1931 г. (Труды КНИРС, 1935; и др.). Затем продолжены с 80-х годов прошлого века (Казаков, 1983; Зубченко и др., 1991; Казаков, Веселов, 1998). Однако эти работы были узко специализированы и посвящены в основном запасам лосося. В них не проводилась инвентаризация нерестовых рек, и они не были направлены на анализ гидрологических показателей, как это было сделано в ряде Европейских стран (Berg, 1964; Baltic Salmon Rivers..., 1999).

Ранее была проведена систематизация и инвентаризация нерестовых водотоков Восточной Финноскандии (Веселов, 2006). В работе анализировались как лососевые, так и кумжевые реки. Использовались 7 гидрологических показателей рек (длина, км; средний расход воды, м<sup>3</sup>/с; площадь водосбора, км<sup>2</sup>; уклон, м; относительное падение, м/км; модуль стока, л•с/км<sup>2</sup>, озерность, %). В результате было выявлено 4 группы рек: I – протяженные полуравнинные, II – средние полуравнинные, III – озерно-речные, полугорные, IV – озерно-речные, горные.

Однако здесь не были учтены важные для воспроизводства лосося характеристики, такие как площадь нерестово-выростных участков (НВУ), плотности распределения молоди лосося, реальные и потенциальные запасы нерестовых мигрантов. Кроме того, представляет интерес изучение рек в сравнительном плане по нескольким показателям, причем для разных бассейнов, выделяющихся различиями физико-географических характеристик, геоморфологией и гидрологическими показателями, которые вместе определяют размеры нерестово-выростного фонда, плотности распределения молоди и запасы производителей лосося.

В связи с этим цель работы состояла в сборе и анализе гидрологических и «биологических» показателей нерестовых рек, принадлежащих к Баренцеву, Белому и озерному бассейнам Восточной Финноскандии.

### Материал и методы

Работа выполнена в 1999-2008 гг. Маршрутную съемку рек осуществляли на лодках, комбинированно с пешим, автомобильным и вертолетным обследованием. Оценивали площади НВУ и их качество (Антонова и др., 2000). Сбор проб рыб осуществляли в летнюю межень методом электролова (Ziprin, 1958). Размер облавливаемой площади составлял 30-200 м<sup>2</sup>. Регистрировали видовой состав и плотности распределения рыб. Численность нерестовых стад лосося определяли на основе сведений по рыбоучетным заграждениям, статистики уловов, оценки продукции популяций (Power, 1973), данных литературы (Калюжин, 2003; и мн. др.), опросных и архивных материалов.

### Результаты и обсуждение

По комплексу и показателей (табл. 1,2), представленных как многопараметрическая система, был проведен многомерный статистический анализ (Харин, 1992) с целью выявления группы ведущих факторов и последующей систематизации нерестовых лососевых рек. Анализ проводился отдельно по бассейнам морей и озер, а также в целом для рек Восточной Финноскандии. Основные обобщенные характеристики нерестовых рек приведены в табл. 1.

Таблица 1

## Общие характеристики нерестовых рек атлантического лосося

Характеристики рек	Бассейны					Всего
	Баренцевоморский (Кольский п-ов)	Беломорский (Кольский п-ов)	Беломорский (Карелия)	Онежский	Ладожский	
Длина, км	2110	2542	2203	946	1173	8973
Падение, м	180±57	194±56	111±47	141±64	111±58	164±64
Отн. падение, м	7,0±6,0	4,8±2,5	1,39±0,7	1,8±0,9	1,1±0,5	4,4±4,4
Коэф. озерности, %	10,0±3,5	4,6±3,1	9,8±5,3	6,2±5,8	7,0±6,0	7,8±4,8
Плотн. молоди, экз./100 м <sup>2</sup>	38±27	20±15	54±37	143±95	99±79	48±39
Запас, экз.	34860	151950	9500	5950	1860	204120
Пот. запас, экз.	203020	452700	66350	39400	29300	790770
Площадь НВУ, га	2007	6040	4940	490	587	14062

**Кольский полуостров.** Раздельно анализировали данные по лососевым рекам, относящимся к бассейнам Баренцева и Белого морей.

На основе метода главных компонент нами проведена систематизация 38 рек Баренцева моря. Исследуемые показатели объединились в два обобщенных фактора (табл. 2). В факторе 1 (дисперсия 49%) основные величины нагрузок пришлись на *длину рек* и *площадь НВУ*. В факторе 2 (дисперсия 15%) наибольшие величины нагрузок имели *падение*, *площадь водосбора* и *модуль стока*.

Таблица 2

## Величины нагрузок исследованных показателей для лососевых рек по различным бассейнам

Показатель / бассейн	Белое море (Кольский п-ов)		Баренцево море (Кольский п-ов)		Ладожское и Онежское озера		Белое море (Карелия)	
	Компонента							
	1	2	1	2	1	2	1	2
Плотность молоди	0,23	−0,41	0,26	0,32	−0,12	0,05	−0,06	−0,26
Запас	0,38	−0,07	0,36	0,19	0,31	−0,28	0,28	−0,42
Потенциальный запас	0,38	−0,05	0,28	0,25	0,37	−0,15	0,19	−0,52
Площадь НВУ	0,40	0,01	0,42	−0,06	0,23	−0,28	0,29	−0,29
Длина реки	0,37	0,23	0,41	0,02	0,38	−0,34	0,46	0,17
Падение реки	0,07	0,67	0,13	0,48	0,03	−0,46	0,34	0,27
Относительное падение	−0,13	−0,09	−0,21	−0,18	−0,41	−0,01	−0,29	0,14
Площадь водосбора	0,39	0,09	0,36	−0,50	0,39	0,30	0,43	0,20
Коэффициент озерности	−0,06	−0,27	−0,24	0,25	0,26	0,35	0,08	−0,41
Модуль стока	−0,18	0,48	0,01	0,50	0,05	0,42	0,08	0,14
Расход воды	0,38	0,08	0,37	−0,32	0,40	0,31	0,43	0,20
Доля обобщенной дисперсии	55%	16%	49%	15%	34%	22%	38%	24%

Анализ расположения в факторном пространстве баренцевоморских рек позволил выявить две различные группы. Большинство рек (30 из 38) по комплексу показателей образовали одну большую группу (рис. 1, I), что свидетельствует о сходстве условий воспроизводства лосося в большинстве баренцевоморских рек. В отдельную группу выделились реки Кола, Печенга, Харловка, Большая Западная Лица, Рында, Титовка, которые характеризуются средней протяженностью, весьма высокими плотностями распределения молоди лосося (40–50 экз./100 м<sup>2</sup>) и относительно высокими запасами (рис. 1, II). Следует отметить, что самостоятельно представлены две крупные реки – Иоканьга и Тулома. Первая, как типичная озерно-речная система, обладает наибольшими запасами лосося и значительным нерестово-выростным фондом, а вторая представляет собой развитую речную систему, но не имеющую достаточного запаса.



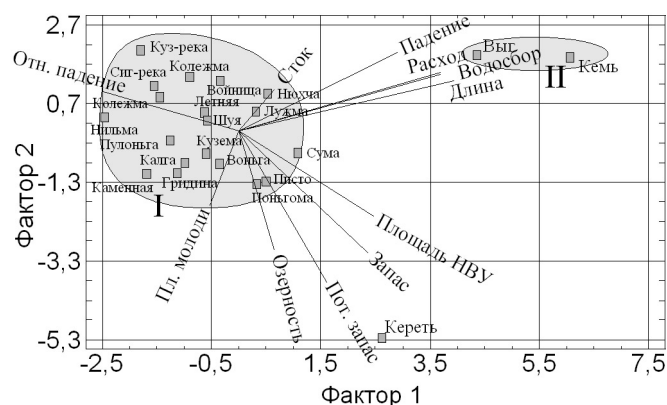


Рис. 3. Распределение лососевых рек бассейна Белого моря Карелии в факторном пространстве

Анализ расположения рек в пространстве обобщенных факторов позволил выявить значительный разброс, как по первому, так и по второму фактору, что может свидетельствовать об их существенном различии. В отдельную группу (рис. 4, I) выделились такие реки, как Сюскуанйоки, Тулема, Лижма, Кумса, Пяльма, Уукса, характеризующиеся высокими значениями относительного падения и плотностью молоди лосося, но не достаточными запасами. Другие, протяженные реки – Паша, Оять (Ладога), Водла (Онего) также в настоящее время не обладают промысловыми запасами лосося, однако имеют весьма крупные и не используемые площади НВУ, которые потенциально связаны с возможной высокой численностью естественно воспроизводящегося лосося. Также в пространстве факторов отдельно расположены другие две крупные реки – Шуя (Онего) и Бурная (Ладога). Первая имеет достаточно высокую численность нерестовых мигрантов, несмотря на наличие потенциально не используемых в настоящее время площадей нерестово-выростного фонда, а вторая характеризуется как протяженная озерно-речная система с большой площадью водосбора и высоким расходом воды, но обладающая малыми площадями НВУ и, как следствие, низким запасом лососей.

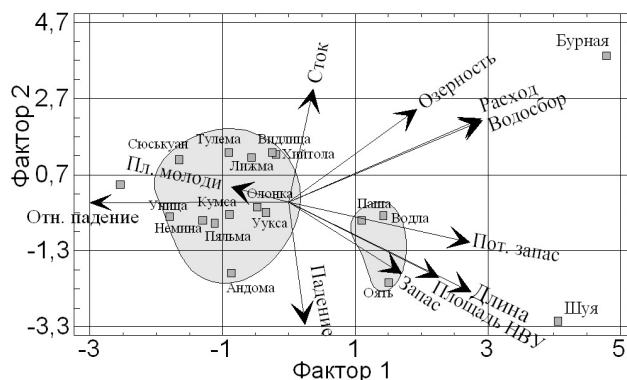


Рис. 4. Распределение лососевых рек озерного бассейна в факторном пространстве

Таким образом, для лососевых рек всех бассейнов можно выделить три ведущих гидрологических показателя – *длина реки*, *площадь водосбора* и *падение*. Однако падение для беломорских рек Карелии явно проявляется только на относительно коротких пороговых участках, связывающих между собой цепи многочисленных озер. В целом озера формируют в большей степени равнинный характер этих рек, а воспроизводство лосося происходит только на порогах и перекатах. Наличие озер определяет для большинства рек повышенные значения среднегодового расхода воды, за исключением баренцевоморских рек. Для этого бассейна дополнительно ведущим показателем становится *модуль стока*, что вполне согласуется с увлажненным климатом данного района. Из «биологических» показателей для рек Кольского полуострова важнейшим является *площадь НВУ*: чем она больше, тем больше реальный запас. Однако для рек Карелии (как беломорских, так и озерных), при благоприятных соотношениях прочих показателей – *потенциальный запас* выходит на первое место, т.е. в настоящее время воспроизводится лосося в несколько раз меньше, чем обеспечен естественный ресурс, в частности недостаточно нерестующих производителей.



Представляет интерес общий анализ гидрологических и «биологических» показателей нерестовых лососевых рек целом по территории Восточной Финноскандии. В результате было выделено три основных фактора (табл. 3). В факторе 1 (дисперсия 34%) основные нагрузки приходятся на *запас*, *потенциальный запас*, *площадь НВУ* и *длину реки*. В фактор 2 (дисперсия 19%) вошел показатель *падение*, а в фактор 3 (дисперсия 14%) – *плотность молоди* и находящиеся с ним в обратной зависимости *площадь водосбора* и *расход воды*.

Анализ расположения рек в 3-х мерном пространстве обобщенных факторов показал, что большинство рек сгруппировалось в единую область (рис. 5). Для них характерны высокие плотности распределения молоди лосося (более 50 экз./100 м<sup>2</sup>), достаточное падение (более 120 м), умеренный коэффициент озерности (6–12%), средний или пониженный сток (3,5–4,5 л/с/м<sup>3</sup>). Другая группа рек – Кица, Иоканьга, Стрельна, Шуя, Умба – отличается большей длиной, площадью НВУ, и, соответственно, большими запасами лосося. Отдельную группу образовали три реки – Тулома, Выг и Кемь – похожие между собой по гидрологическим показателям: площади водосбора, расходу воды, длине, но не обладающие запасами по сравнению с другими реками. Связано это с зарегулированием рек гидроузлами, преградившими доступ мигрантам к верхним и средним нерестилищам. В факторном пространстве существенно выделяются наиболее продуктивные реки по запасам нерестующих производителей лосося и площади НВУ – это Варзуга (70 тыс. экз.) и Поной (30 тыс. экз.). Отдельно в трехмерном пространстве локализовалась река Бурная (Ладожское оз.), представляющая собой протяженную озерно-речную систему, но с недостаточными площадями НВУ в нижней части. Это и определило относительно низкие как реальные, так и потенциальные запасы лосося в ней.

Таблица 3

Величины нагрузок исследованных показателей для лососевых рек

Показатель	Компонента 1	Компонента 2	Компонента 3
Плотность молоди	0,09	-0,24	<b>0,42</b>
Запас	<b>0,40</b>	0,34	0,16
Потенциальный запас	<b>0,40</b>	0,33	0,15
Площадь НВУ	<b>0,43</b>	0,19	0,17
Длина реки	<b>0,44</b>	-0,06	-0,09
Падение реки	0,05	<b>0,44</b>	-0,37
Относительное падение	-0,20	0,32	-0,23
Площадь водосбора	0,33	-0,35	<b>-0,43</b>
Коэффициент озерности	-0,05	-0,26	-0,16
Модуль стока	-0,14	0,30	-0,40
Расход воды	0,35	-0,31	<b>-0,43</b>
Доля обобщенной дисперсии	34%	19%	14%

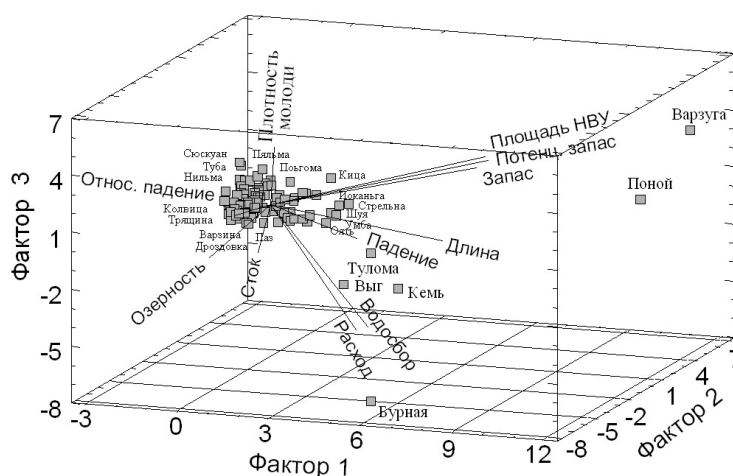


Рис. 5. Распределение лососевых рек Белого, Баренцева и озерного бассейнов в факторном пространстве

Таким образом, впервые проведен сравнительный анализ лососевых нерестовых рек по Баренцеву, Белому и озерному бассейнам. В результате выявлены общие и значимые для воспроизводства атлантического лосося характеристики рек. Показано, что для рек Карелии имеется существенный потенциал не используемого диким лососем нерестово-выростного фонда. Реки Кольского полуострова в целом отличаются большим соответствием площадей НВУ реальным запасам лосося. Однако и здесь для целого ряда рек, особенно расположенных вблизи дорожно-транспортной инфраструктуры и доступных для нелегального лова (Кола, Тулома, Умба и др.) наблюдается заполнение нерестилищ лишь на 40-60%. Некоторые реки имеют естественные преграды к верхним НВУ в виде не проходимых для нерестовых мигрантов водопадов (Орловка, Рында, Стрельна и др.).

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ 08-04-91771-АФ (№ 08-04-91771-АФ\_а) и Академии наук Финляндии (грант №124121), Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Информационное обеспечение программ сохранения, восстановления и рациональной эксплуатации запасов атлантического лосося, воспроизводящихся в реках Восточной Фенноскандии» (№ г.р. 01.2.00608827) (2009-2011 гг.).*

### Литература

Антонова В.А., Чуксина Н.А., Студенов И.И., Титов С.Ф., Семенова О.В., Шустов Ю.А., Веселов А.Е., Хренников В.В., Широков В.А., Щуров И.Л. 2000. Обзор методов оценки лососевых рек. Издательский центр АГМА, г. Архангельск. 47 с.

Веселов А.Е. 2006. Инвентаризация и систематизация нерестовых рек атлантического лосося Мурманской области и Карелии // Доклады академии наук, том 407, № 3. С. 1-5.

Зубченко А.В., Кузьмин О.Г., Новиков О.Н., Сорокин Л.А. 1991. Рекреационный лов лосося на Кольском п-ве (Программа развития). Мурманск, ПИНРО. 149 с.

Казаков Р.В. 1983. Гидрологические особенности рек как среды обитания атлантического лосося *Salmo salar* L. // Промышленная гибридизация рыб. ГосНИОРХ. Вып. 195. С. 80-106.

Казаков Р.В., Веселов А.Е. 1998. Популяционный фонд атлантического лосося России // В кн.: Атлантический лосось. СПб, «Наука». С. 385-395.

Калюжин С.М. 2003. Атлантический лосось Белого моря: проблемы воспроизводства и эксплуатации. Петрозаводск, «Петропресс». 264 с.

Труды Карельской научно-исследовательской рыбохозяйственной станции. 1935. Под ред.: Бессонов М.Н., Правдин И.Ф., Берг Л.С. Ленинград: Госфиниздат им. Котлякова, том 1. 394 с.

Харин В.Н. Факторный анализ (подход с использованием ЭВМ). Петрозаводск, КарНЦ РАН, 1992. 191 с.

Baltic Salmon Rivers – status in the late 1990s as reported by the countries in the Baltic Region / by edit: Ranke W., Rappe C., Soler T. Göteborg: Göteborgs Länsstryckeri AB, 1999. 69 p.

Berg M. 1964. Nord-Norske Lakseelver. Oslo, Johan Grundt Tanum Forlag. 300 p.

Power G. 1973. Estimates of age, growth, standing crop and production of salmonids in some North Norwegian rivers and streams // Drottningholm: Rept. Inst. Freshwater Res., vol. 53, pp. 78-111.

Zippin C. 1958. The removal method of population estimation // Journal of Wildlife Management, vol. 22, № 1. P. 82-90.

## ДИНАМИКА ВОДНОГО И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБМЕНА В РАННЕМ ОНТОГЕНЕЗЕ ЗЕЛЁНОЙ ЖАБЫ *BUFO VIRIDIS*

И.Г. Владимирова, Л.И. Радзинская, Т.А. Алексеева, С.Ю. Клейменов

Учреждение Российской академии наук

Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН, г. Москва, Россия

e-mail: i.g.vladimirova@gmail.com

Известно, что водный обмен амфибий существенно изменяется в онтогенезе. Это особенно заметно в эмбриональном и личиночном развитии. По характеру водного обмена в эмбриогенезе амфибий можно выделить 3 периода. От оплодотворения до нейрулы вода поступает в зародыш; на стадии нейрулы содержание воды в зародыше снижается вследствие секреции воды в перивителлиновое пространство; на последующих стадиях содержание воды в зародыше вновь увеличивается (Зотин, 1961). В раннем личиночном развитии происходит дальнейшее увеличение поступления воды, которое сохраняется на более высоком, чем у взрослых особей уровне до начала метаморфоза (Fletcher, Myant, 1959; Funkhouser, Mills, 1969; Владимирова и др., 2000; Seymour *et al.*, 2000).

Примером изменения содержания воды могут служить хвостатые амфибии. В оплодотворенных яйцах тритонов ее содержание составляет 52% (Владимирова и др., 2010). К завершению эмбриогенеза содержание воды у тритонов увеличивается до 88%, а в ранний личиночный период до 91%. Столь же высокое содержание воды обнаружено у личинок других видов хвостатых и бесхвостых амфибий (Fletcher, Myant, 1959; Funkhouser, Mills, 1969; Владимирова и др., 2000; Seymour *et al.*, 2000).

Вода, поступающая в зародыш, необходима для образования полости бластоцеля и гастроцеля, а позднее – полости перикарда, нервной трубки, головных полостей и кровеносной системы. Помимо образования полостей тела вода принимает участие в обводнении тканей зародышей и личинок (Зотин, 1961).

В последнее время интерес к процессам поступления воды в яйца амфибий возрос. Было показано, что она играет значительную роль в процессах, связанных с транспортом кислорода к развивающемуся зародышу амфибий. Кислород поступает из внешней среды, проходя через студенистый слой, капсульную оболочку, вителлиновую и желточные мембраны яйца амфибий. В процессе развития образуется перивителлиновое пространство, которое увеличивается в объеме за счет поступления воды. Увеличение перивителлинового пространства приводит к увеличению площади поверхности газового обмена и уменьшению толщины капсульной оболочки, окружающей вителлиновую мембрану, что способствует лучшей диффузии кислорода к поверхности зародыша (Seymour, Roberts 1991; Seymour, Laveridge 1994; Seymour, Bradford 1995).

Непосредственное измерение содержания воды и интенсивности потребления кислорода было проведено у хвостатых амфибий (Владимирова и др., 2010). Показано, что в эмбриогенезе тритона *Pleurodeles waltl* интенсивность энергетического обмена нарастает, достигая наивысшего уровня в конце эмбрионального – начале личиночного периода. Изменение интенсивности потребления кислорода происходит однонаправленно и синхронно с изменением содержания воды в теле зародыша и личинки. Насколько наблюдаемое сходство динамики является общим для развития амфибий, предполагается выяснить в настоящей работе.

Задачей настоящей работы было параллельное изучение водного и энергетического обмена в развитии зеленой жабы *Bufo viridis*.

### Материалы и методы

Исследовали яйца и личинки зеленой жабы *Bufo viridis* (Laurenti) (отр. Anura, сем. Bufonidae). Икра получена в результате инъекции жабам аналога люлюберина (10 мг/особь). Развитие яиц и личинок проходило в лабораторных условиях при комнатной температуре. Исследования проводили на протяжении первых 22 сут развития, в течение которых проходит эмбриогенез и развитие личинки. После чего животные переходят к активному питанию и начинают претерпевать метаморфоз. В конце изученного срока головастики находятся на стадии IV11.12 (начало формирования пальцев задних конечностей). Стадии развития определены по таблицам нормального развития для жабы *Bufo bufo* (Cambar, Girouloux, 1956).

Определена сырая масса и сухая масса тела после высушивания до постоянных значений при 56 °С. Разница между сухой и сырой массой служила показателем содержания воды. На ранних стадиях эти измерения затруднены из-за наличия трудно отделяемой общей оболочки. В ряде опытов эта оболочка была предварительно удалена механическим путем или воздействием 2% трипсина.

Об уровне энергетического обмена судили по потреблению кислорода, которое измеряли манометрическим методом Варбурга. Измерения проводили при 19 °С в сосудах объемом 5–20 мл в течение 2–4 час. Объем сосуда и продолжительность измерения зависели от возраста животного. К концу измерения концентрация кислорода в сосуде, где находились животные, уменьшалась не более чем на 10–20%. Рассчитывали скорость потребления кислорода отдельной особью (мкл ч<sup>-1</sup>) и интенсивность – потребление кислорода, отнесенное к единице сырой или сухой массы (мкл ч<sup>-1</sup> г<sup>-1</sup>).

### Результаты и обсуждение

Сырая масса яиц составляет около 15% от общей сырой массы кладки. Для сухой массы этот показатель равен 86%. В наших опытах освобождение яиц от общей оболочки кладки начинается на 3–4 сут (стадия II9.10). Окончание эмбриогенеза происходит к 7–8 сут развития. На 15 сут личинки приступают к активному питанию (стадия IV3.4).

Сырая масса зародыша увеличивается в эмбриогенезе с 2.5 до 4.1 мг. К началу активного питания она возрастает до 10.5 мг и в конце исследованного периода на 22 сут развития достигает 70 мг.

Сухая масса зародышей достоверно не изменяется в эмбриогенезе и составляет  $0.97 \pm 0.05$  мг. В личиночном развитии она увеличивается до 3.7 мг.

Содержание воды на стадиях бластулы-гастролы составляет 64% от общей массы зародыша. К концу эмбриогенеза доля воды увеличивается до 82%, к началу активного питания – до 92%, а в дальнейшем личиночном развитии составляет 94%. Динамика изменения содержания воды в развитии зеленой жабы не отличается от таковой, описанной для других видов амфибий. В количественном отношении содержание воды на изученных стадиях развития существенно не отличается от значений, полученных у других видов амфибий (Fletcher, Myant, 1959; Funkhouser, Mills, 1969; Владимирова и др., 2000; Seymour *et al.*, 2000).

Скорость потребления кислорода увеличивается в 5 раз в эмбриогенезе и в 8.6 раз в раннем личиночном развитии. В последующие 7 сут личиночного развития скорость потребления кислорода увеличивается еще в 7 раз.

Интенсивность потребления кислорода, рассчитанная на сырую массу, увеличивается в 4 раза в эмбриогенезе и в 2.4 раза в раннем личиночном развитии. Максимальный уровень достигается в период перехода личинок к активному питанию ( $0.30 \pm 0.07$  мкл/мг ч). В последующие 7 сут личиночного развития скорость потребления кислорода достоверно не изменяется. В расчетах на сухую массу интенсивность потребления кислорода увеличивается в 3.4 и 6.9 раз на соответствующих стадиях раннего развития (рис. 1). Полученные данные не противоречат результатам аналогичных исследований, проведенных на других видах амфибий (Владимирова и др., 2000, 2010).

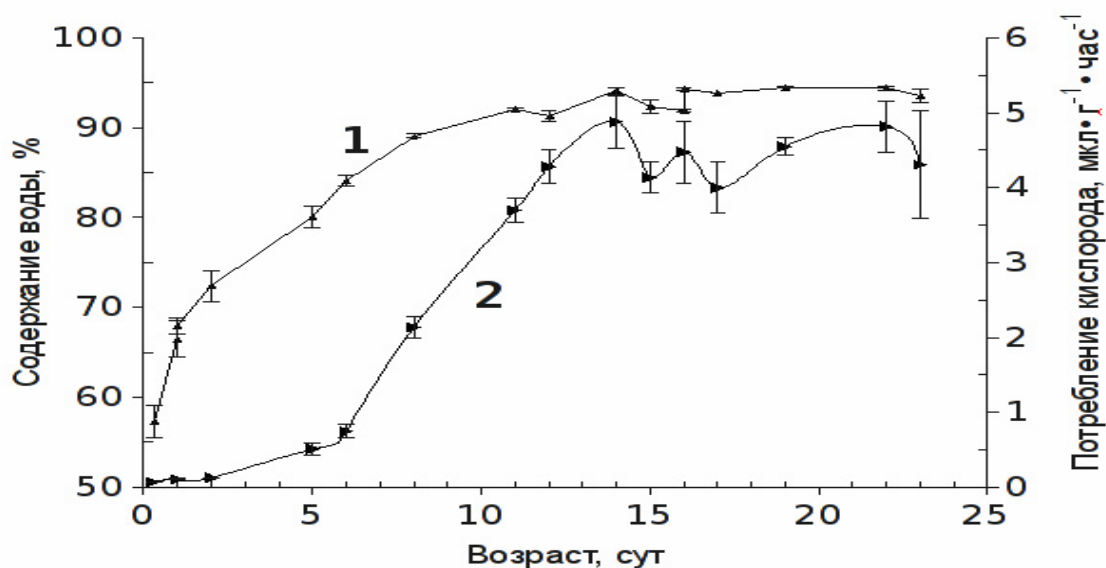


Рис. 1. Изменение содержания воды (1) и интенсивности потребления кислорода (2) в развитии зеленой жабы

Сопоставление динамики водного и энергетического обмена зеленой жабы выявляет их сходство: изученные показатели обмена увеличиваются в эмбриогенезе и раннем личиночном развитии, достигают максимума в период начала активного питания и стабилизируются в дальнейшем. Подобный параллелизм был отмечен ранее в развитии иглистого тритона. Таким образом, несмотря на отличия в протекании онтогенеза у изученных представителей бесхвостых и хвостатых амфибий динамика водного и энергетического обмена у них одинакова.

Известно, что в ранний личиночный период развития амфибий происходит увеличение концентрации митохондрий и активности ферментов, участвующих в окислительном обмене (Озернюк, Леянова, 1985; Озернюк, 2000). Возможно, что одним из факторов, способствующих интенсификации обмена в ходе развития, является обводнение тканей. Содержание воды в клетке может определять интенсивность молекулярного краудинга, явления, которое оказывает заметное влияние на конформацию белков в клетке, на скорость и равновесие биохимических реакций (Чеботарева,

2007). Помимо этого, увеличение транспорта воды и других растворов через клеточные мембраны предполагает увеличение экспрессии аквапоринов, которые могут принимать участие в различных физиологических процессах, происходящих в клетке (Verkman, Mitra, 2000; Verkman, 2005; Endeward *et al.*, 2006). Однако, для того, чтобы говорить о наличии связи между интенсивностью потребления кислорода и содержанием воды в развивающихся тканях амфибий, необходимы дальнейшие исследования.

*Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ, грант № 08-04-01063.*

### Литература

- Владимирова И. Г., Злочевская М. Б., Озернюк Н. Д., 2000. Динамика интенсивности дыхания в раннем онтогенезе амфибий // Онтогенез. Т. 31, № 5. С. 350-354.
- Владимирова И. Г., Клейменов С. Ю., Алексеева Т. А., 2010. Динамика изменения массы и потребления кислорода в раннем развитии иглистого тритона *Pleurodeles waltl* (Amphibia: Salamandridae) // Изв. РАН. Сер. биол. (в печати).
- Зотин А. И., 1961. Физиология водного обмена у зародышей рыб и круглоротых / М.: Изд-во АН СССР. 317 с.
- Озернюк Н. Д., 2000. Биоэнергетика онтогенеза / М.: Изд-во МГУ. 264 с.
- Озернюк Н. Д., Лелянова В. Г., 1985. Особенности энергетического обмена в раннем онтогенезе рыб и амфибий // Журн. общ. биологии. Т. 46, № 6. С. 778-785.
- Чеботарева Н. А., 2007. Влияние молекулярного краудинга на ферменты гликогенолиза // Успехи биологической химии. Т. 47. с. 233-258.
- Cambar R., Gipouloux J. D., 1956. Table chronologique du developpement embryonnaire et larvaire du crapaud commun: *Bufo bufo* L. // Biol. Bull. V. 40. P. 198-217.
- Endeward V., Musa-Aziz R., Cooper G. J., Chen L.-M. *et al.*, 2006. Evidence that aquaporin 1 is a major pathway for CO<sub>2</sub> transport across the human erythrocyte membrane // The FASEB J. V. 20. P. 1974-1981.
- Fletcher K., Myant N. B., 1959. Oxygen consumption of tadpoles during metamorphosis // J. Physiol. V. 145. P. 353-368.
- Funkhouser A., Mills K. S. 1969. Oxygen consumption during spontaneous amphibian metamorphosis // Physiol. Zool. V. 42. P. 15-21.
- Seymour R. S., Bradford D. F., 1995. Respiration of amphibian eggs // Phys. Zool. V. 68, № 1. P. 1-25.
- Seymour R. S., Laveridge J. P., 1994. Embryonic and larval respiration in the arboreal foam nests of the african frog *Chiromantis xerampelina* // J. Exp. Biol. V. 197. P. 31-46.
- Seymour R. S., Roberts J. D., 1991. Embryonic respiration and oxygen distribution in foamy and nonfoamy egg masses of the frog *Limnodynastes tasmaniensis* // Phys. Zool. V. 64, № 5. P. 1322-1340.
- Seymour R. S., Roberts J. D., Mitchell N. J., Blaylock A. J., 2000. Influence of environmental oxygen consumption on development and hatching of aquatic eggs of the australian frog, *Crinia georgiana* // Physiol. Biochem. Zool. V. 73, № 4. P. 501-507.
- Verkman A. S., 2005. More than just water channels: unexpected cellular roles of aquaporins // J. Cell Scienc. V. 118. P. 3225-3232.
- Verkman A. S., Mitra A. K., 2000. Structure and function of aquaporin water channels // Am. J. Physiol. Renal Physiol. V. 278. P. F13-F28.

## CHANGES OF BODY WATER CONTENT AND OXYGEN CONSUMPTION IN EMBRYONIC AND LARVAL DEVELOPMENT OF GREEN TOAD *BUFO VIRIDIS*

I.G. Vladimirova, T.A. Alekseeva, L.I. Radzinskaya, S.Yu. Kleimenov

Koltzov Institute of Developmental Biology RAS, Moscow, Russia

e-mail: i.g.vladimirova@gmail.com

During embryonic and endotrophic larval development, a four fold increase in the wet body weight and a nine fold increase in the mass-specific rate of oxygen consumption were observed. The dry body weight remained relatively constant and the body water content rose from 64% to 92% . Thereafter, wet and dry body weight increased the same way as the oxygen consumption level. The water content and the mass-specific oxygen consumption did not change to the end of the studied period. The possibility of connection between the body water content and the oxygen consumption during development of some amphibians was supposed.

## ИЗУЧЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОМПОНЕНТОВ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ НА АКТИВНОСТЬ ФЕРМЕНТОВ СЕГОЛЕТОК СЕМГИ (*SALMO SALAR* L.)

Р.У. Высоцкая<sup>1</sup>, В.С. Амелина<sup>1</sup>, Н.К. Шустова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Учреждение Российской академии наук Институт биологии Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск, Россия

<sup>2</sup> Северный научно-исследовательский институт рыбного хозяйства Петрозаводского государственного университета, г. Петрозаводск  
e-mail: rimma@bio.krc.karelia.ru

Добыча углеводородного сырья сопровождается множественными негативными воздействиями на окружающую среду, кормовую базу и ценные биоресурсы. В связи с наметившейся в мире тенденцией смещения работ по освоению нефтегазовых месторождений с суши на морской шельф возникла проблема минимизации вреда от этого рода деятельности человека на экосистемы морей, качество воды, изменение условий жизни водных организмов, запасы промысловых видов рыб и других обитателей моря (Научно-методические подходы ..., 1997; Балаба, 2004). Среди разнообразных видов воздействия на биоту одним из самых опасных является химическое загрязнение водоемов, которое связано с поступлением в воду материалов и реагентов, используемых при проведении разведочных и эксплуатационных буровых работ, а также с технологическими отходами (Рыбина, 2004; Steinhauer et al., 1994). Наиболее токсичными являются буровые растворы: сложные смеси компонентов, облегчающих бурение при высокой температуре и повышенном давлении, предохраняющие буровое оборудование от коррозии, позволяющие сохранять целостность стенок скважины, регулировать вязкость и водоотдачу и т. д. В их составе есть органические и неорганические вещества, тяжелые металлы, ПАВ, пеногасители, смазочные добавки, биоциды. Установлено, что отдельные компоненты буровых растворов оказывают отрицательное влияние на фито- и зоопланктон, бентос, икру, личинок и молодь рыб и других животных (Савинов, Бобров, 1988; Джабаров, 1988; Дохолян и др., 1988; Сидоров и др., 2002; Рипатти и др., 2003; Немова, Высоцкая, 2004; Высоцкая и др., 2005). Все это обуславливает высокие требования к экологической безопасности материалов и реагентов, применяющихся при буровых работах, и ставит перед необходимостью определять предельно допустимые концентрации каждого из компонентов буровых растворов. Определение токсичности этих веществ производится с использованием широкого комплекса методов, включает изучение поведенческих физиологических и биохимических реакций на них различных тест-объектов (Козак и др., 1988; Научно-методические подходы ..., 1997; Шпарковский и др., 2003; Немова, Высоцкая, 2004).

Целью исследования являлось изучение воздействия различных концентраций двух веществ – силиката калия и модифицированного крахмала, входящих в состав буровых растворов, на активность некоторых ферментов сеголеток семги. Экспериментальные работы проводили в аквариальной СевНИИРХа ПетрГУ. Сеголетки средней массой 2.58 г и длиной тела 67.7 мм были получены с Выгского рыбоводного завода. Сначала молодь рыб адаптировали к условиям лаборатории в пресной воде, затем их выдерживали в течение двух недель в воде с соленостью 20 ‰, для приготовления которой использовали морскую соль. Экспериментальные растворы готовили на «морской» воде. Силикат калия испытывали в концентрациях 31.2, 62.5, 125.0, 250.0 и 500.0 мг/л; модифицированный крахмал – 15.6, 31.2, 62.5, 125.0, 250.0, 500.0, 1000.0 и 2000 мг/л. Экспозиция в аквариумах с аэрацией составляла 30 суток. Смену растворов осуществляли раз в неделю, за сутки до смены растворов рыбок кормили. Температуру воды поддерживали в пределах 9–11° С. По окончании экспериментов, оставшихся в живых рыб брали на биохимический анализ. Из мышц готовили гомогенаты, осветляли их центрифугированием, в надосадочной жидкости определяли активность лизосомальных (кислая фосфатаза,  $\beta$ -глюкозидаза,  $\beta$ -галактозидаза, ДНКазы, РНКазы), цитоплазматических (щелочная фосфатаза, альдолаза) ферментов и содержание белка (Высоцкая, Немова, 2008).

Как показали результаты исследования, оба реагента вызывали существенные изменения изученных показателей у молоди семги. Содержание белка в мышечной ткани рыб снижалось практически во всех вариантах опыта и наиболее значительно при концентрации силиката калия 125 мг/л (рис.1). Этот препарат оказывал ингибирующее влияние на активность лизосомальной ДНКазы, щелочной фосфатазы и альдолазы. Активность же кислой фосфатазы и обеих гликозидаз заметно превышала контрольный уровень (рис. 2). Модифицированный крахмал в большинстве случаев снижал

активность кислой РНКазы и активизировал ДНКазу. Особенно заметно повышалась активность  $\beta$ -галактозидазы и кислой фосфатазы по сравнению с контролем. Активность альдолазы и щелочной фосфатазы, напротив, под воздействием этого вещества угнеталась. Обнаруженные закономерности отчетливо прослеживались как при расчете активности ферментов на 1 г сырого веса ткани, так и на мг белка (рис. 3).

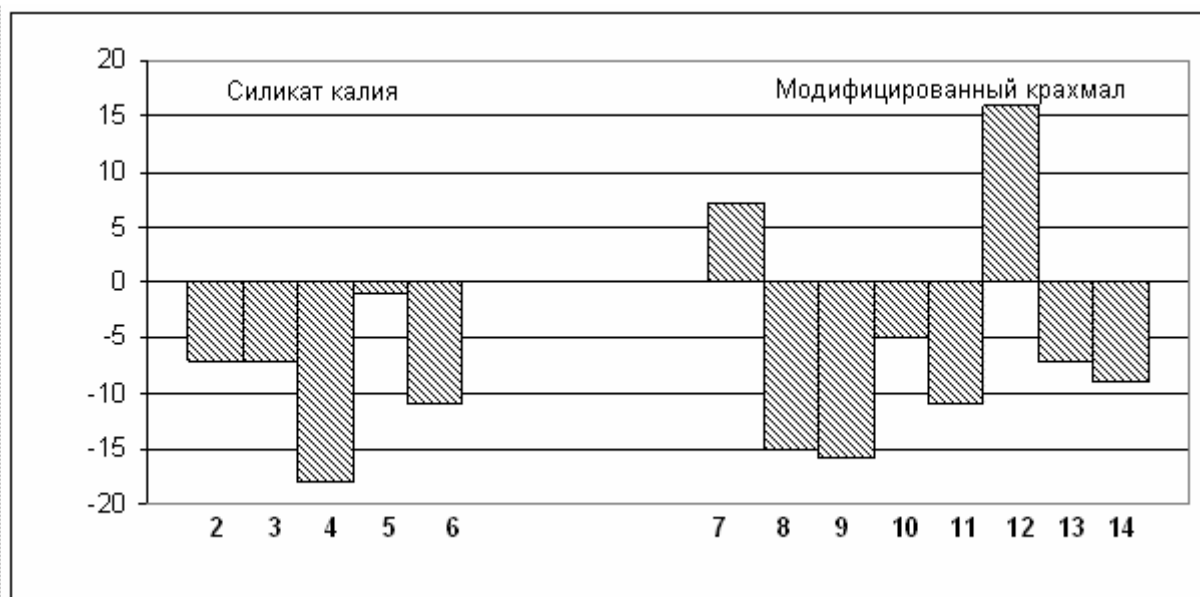


Рис. 1. Изменение содержания белка в тканях молоди лосося под влиянием различных концентраций компонентов буровых растворов (% к контролю). 2 – 31,2, 3 – 62,5, 4 – 125, 5 – 250, 6 – 500 мг/л силиката калия; 7 – 15,6, 8 – 31,2, 9 – 65,2, 10 – 125, 11 – 250, 12 – 500, 13 – 1000, 14 – 2000 мг/л модифицированного крахмала.

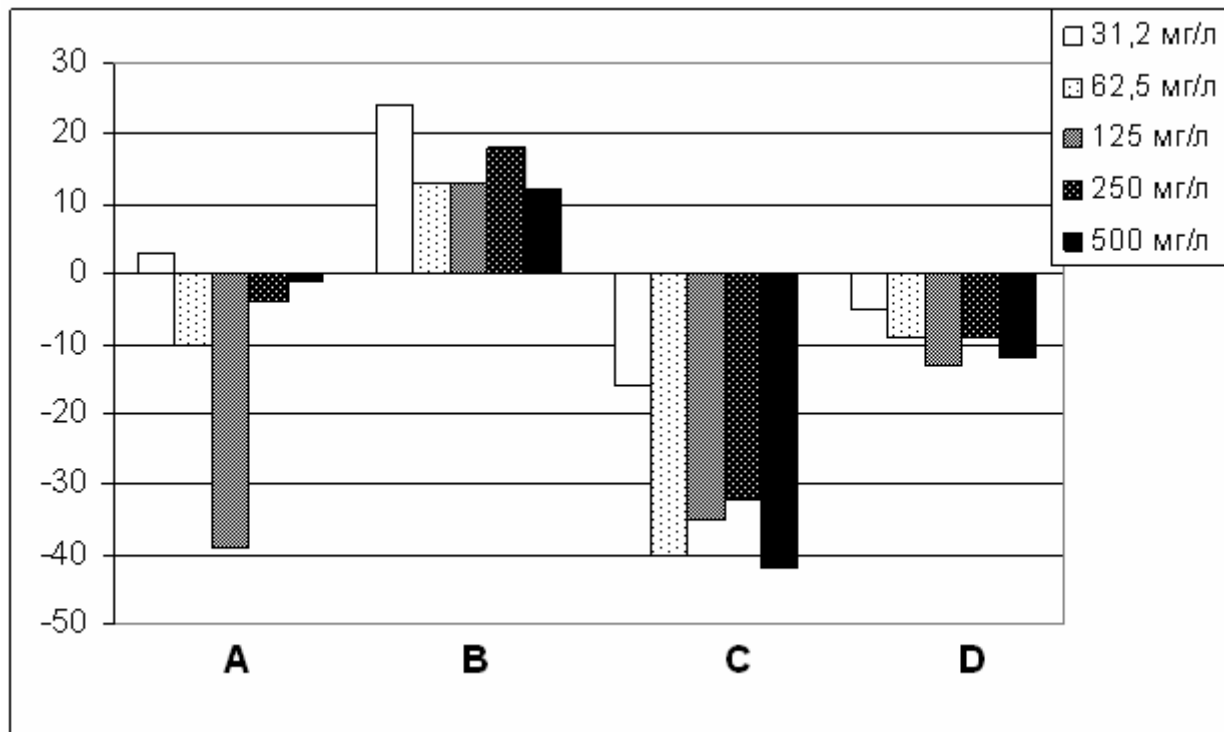


Рис. 2. Изменение активности ферментов (на 1 г сырого веса ткани) в мышцах сеголеток лосося под влиянием различных концентраций силиката калия, % к контролю. А – ДНКазы, В – кислая фосфатаза, С – щелочная фосфатаза, D – альдолаза.

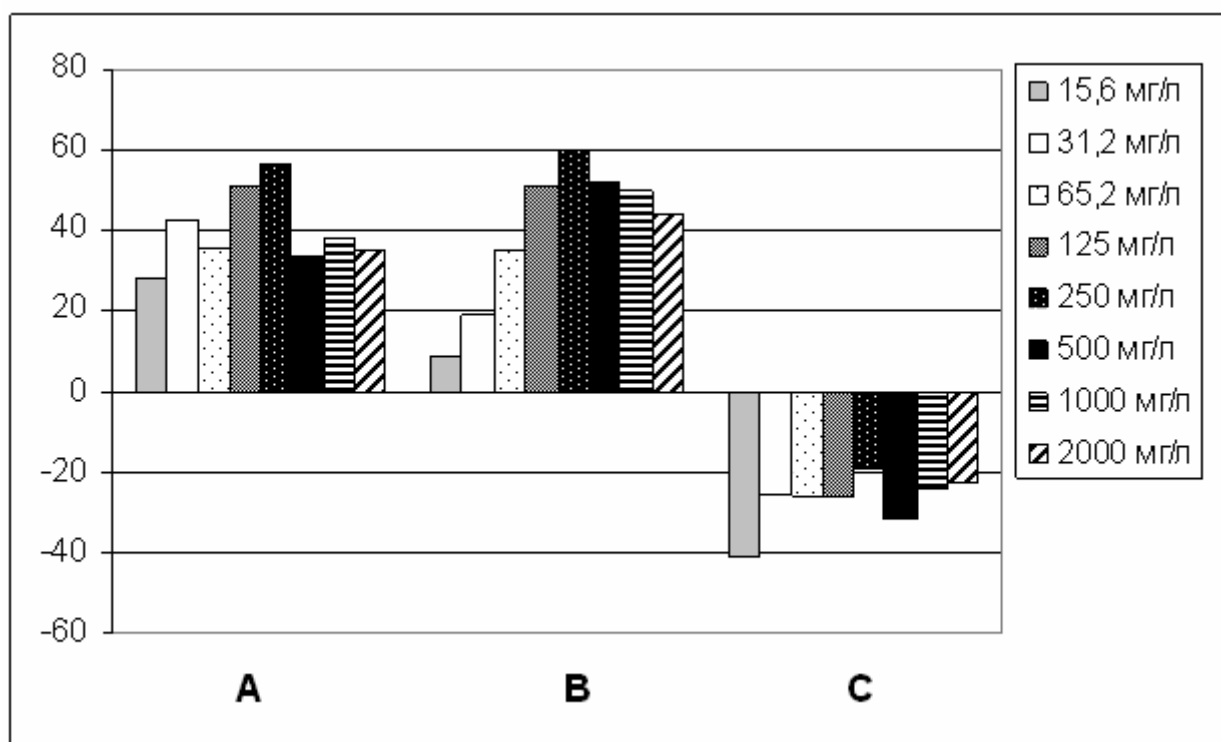


Рис.3. Изменение удельной активности ферментов (на мг белка) в мышцах сеголеток лосося под влиянием различных концентраций модифицированного крахмала, % к контролю. А –  $\beta$ -галактозидаза, В – кислая фосфатаза, С – щелочная фосфатаза.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что реакция со стороны изученных ферментных систем клетки на исследованные вещества является неспецифичной и направлена на повышение защитных и адаптивных сил организма рыб. Известно, что молодь лосося очень чувствительна к химическому загрязнению (Юрцева и др., 2005). В ответ на появление в среде обитания загрязняющих веществ в клетках организма происходит образование большого числа лизосомальных структур, о чем свидетельствует возрастание активности фермента-маркера лизосом – кислой фосфатазы. О неблагоприятном воздействии говорит также факт снижения содержания белка в тканях подопытных сеголеток. Некоторые отличия в реакции на изученные препараты обусловлены их разной химической природой. Силикатные растворы щелочных металлов обладают высокой вяжущей способностью, благодаря чему их используют как гелеобразователи в смазочных реагентах, в качестве крепящей добавки и ингибитора при составлении рецептуры буровых растворов. Второй компонент отличается от силиката калия по химической структуре. Полученные путем химической модификации производные крахмала находят все более широкое применение в разных отраслях промышленности и, как продукт быстро возобновляемого сырья, успешно заменяют производные целлюлозы, в частности, карбоксиметилцеллюлозу, входящую в состав буровых растворов (Джабаров, 1988). Используются вязкостные свойства модифицированного крахмала, его добавляют в буровые растворы в качестве стабилизатора и понизителя водоотдачи. Повышение активности лизосомальных гликозидаз, обладающих широкой субстратной специфичностью, является ответом организма рыб на появление в среде обитания высоких концентраций производных природного полисахарида, служащего для них субстратом. Интересным фактом является противоположно направленная реакция нуклеаз на испытанные реагенты, что указывает на разную вовлеченность генома в адаптивные перестройки организма.

В целом, используя для оценки степени влияния данных веществ на молодь лосося разработанный в лаборатории биохимический интегральный индекс (Немова, Высоцкая, 2004), можно сказать, что вариабельность изученных биохимических показателей под воздействием обоих компонентов не выходит (за редким исключением) за рамки их естественной изменчивости. Силикат калия оказывает более сильное воздействие на сеголеток семги по сравнению с модифицированным крахмалом, а токсичность обоих веществ не очень высока. Однако следует отметить, что эти рассуждения справедливы, если исследуется



влияние одного реагента. В реальных условиях, когда на водные организмы воздействует целый комплекс веществ, входящих в буровые растворы, их токсичность значительно возрастает.

*Работа выполнена при финансовой поддержке грантов Президента РФ для ведущих научных школ НШ- 4310.2006.4, НШ-306.2008.4 и Программы ОБН РАН «Фундаментальные основы управления биологическими ресурсами» (2006–2008 гг.).*

### Литература

Балаба В.И. 2004. Обеспечение экологической безопасности строительства скважин на море // Бурение и нефть. № 1. С. 18–21.

Высоцкая Р.У., Немова Н.Н. 2008. Лизосомы и лизосомальные ферменты рыб. М.: Наука. 284 с.

Высоцкая Р.У., Амелина В.С., Ломаева Т.А., Шустова Н.К. 2005. Изучение влияния компонентов буровых растворов на активность ферментов беломорских мидий (*Mytilus edulis* L.) // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера. IV (XXVII) междунар. конф. Сб. материалов. Ч. 1. Вологда: ВГПУ. С. 94–95.

Джабаров М.И. 1988. Токсикологическая оценка действия реагента карбоксиметилцеллюлозы на молодь белуги // V Всесоюзн. конф. по водной токсикологии (Одесса, 1988). Тез. докл. М.: ВНИРО. С. 112–113.

Дохолян В.К., Ахмедова Т.П., Коваленко Л.Д., Магомедов А.К., Шлейфер Г.С. 1988. Реакция рыб на присутствие в среде некоторых компонентов буровых растворов // Первая Всесоюзная конференция по рыбохозяйственной токсикологии (Юрмала, 1988). Тез. докл. Ч. 1. Рига: Госагропром Латв. ССР. С. 125–126.

Козак Н.В., Проценко Ю.Б., Шпарковский И.А. 1988. Поведенческие реакции рыб при действии буровых растворов и их компонентов // Там же. С. 199–200.

Научно-методические подходы к оценке воздействия нефтегазодобычи на экосистемы морей Арктики (на примере Штокмановского проекта). 1997. / Ред. Г.Г. Матишов. Апатиты: Изд. КНЦ РАН. 393 с.

Немова Н.Н., Высоцкая Р.У. 2004. Биохимическая индикация состояния рыб. М.: Наука. 216 с.

Рипатти П.О., Феклов Ю.А., Руоколайнен Т.Р., Маркова Л.В., Нефедова З.А., Тойвонен Л.В., Зекина Л.М. 2003. Липиды печени и мышц камбалы *Platichthys flesus* L. при воздействии компонентов буровых растворов в аквариальных опытах // Современные проблемы физиологии и экологии морских животных. Сб. науч. трудов. Апатиты: ММБИ КНЦ РАН. С. 157–168.

Рыбина Г.Е. 2004. Токсичность буровых шламов разного состава нефтепромыслов Западной Сибири для пресноводных гидробионтов: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Борок: Тюменская гос. сельскохозяйственная академия. 21 с.

Савинов В.М., Бобров Ю.А. 1988. Комбинированное действие феррумхромлигносульфоната (ФХЛС) и ДДТ на первичную продукцию фитопланктона Баренцева моря // V Всесоюзн. конф. по водной токсикологии (Одесса, 1988). Тез. докл. М.: ВНИРО. С. 167–168.

Сидоров В.С., Немова Н.Н., Высоцкая Р.У., Феклов Ю.А. 2002. Использование интегрального биохимического индекса при определении предельно допустимых концентраций промышленных токсикантов // Прикладная биохимия и микробиология. Т. 38, № 3. С. 345–350.

Шпарковский И.А., Муравейко В.М., Чинарина А.Д., Таскина Е.В. 2003. Хемосенсорные системы рыб и биоиндикация качества водной среды // Современные проблемы физиологии и экологии морских животных. Сб. науч. трудов. Апатиты: ММБИ КНЦ РАН. С. 62–70.

Юрцева А.О., Лайус Д.Л., Артамонова В.С., Махров А.А., Студенов И.И., Титов С.Ф. 2005. Влияние условий рыбоводных заводов на стабильность развития атлантического лосося из природных популяций рек бассейна Белого моря // Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря. Петрозаводск: Издательский дом ПИН. С. 349–353.

Steinhauer M., Crecelius E., Steinhauer W. 1994. TEMPORAL and spatial changes in the concentrations of hydrocarbons and trace metals in the vicinity of an offshore oil-production platform // MAR. Environ. Res. Vol. 37, no. 2. P. 129–163.

## ВЛИЯНИЕ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА АКТИВНОСТЬ ЛИЗОСОМАЛЬНЫХ ФЕРМЕНТОВ МИДИЙ В АКВАРИАЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

**Р.У. Высоцкая, В.С. Амелина, И.Н. Бахмет**

Учреждение Российской академии наук Институт биологии  
Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск, Россия  
e-mail: rimma@bio.krc.karelia.ru

Нефть и продукты ее переработки наряду с тяжелыми металлами и пестицидами являются одними из самых распространенных загрязняющих гидросферу веществ (Патин, 2001). Увеличение

масштабов загрязнения Мирового океана нефтепродуктами и его последствия вызывают обеспокоенность экологов и других специалистов, связанных с охраной природы и рациональным использованием ресурсов (Яблоков, Остроумов, 1985). Негативное воздействие нефтяного загрязнения на биоту прослеживается на всех звеньях пресноводных и морских экосистем (Михайлова, 2005). Наибольшую опасность для живого представляют водорастворимые фракции нефти, содержащие ароматические углеводороды, которые обладают токсическим, тератогенным и мутагенным действием. Многие из нефтепродуктов могут накапливаться, удерживаться, метаболизироваться в организмах гидробионтов и передаваться по пищевым цепям (Проблемы химического загрязнения..., 1985). Кроме прямого воздействия на микроорганизмы, растительность, беспозвоночных, рыб и других водных животных эти токсиканты оказывают влияние на процессы гамето- и эмбриогенеза, развитие личинок и молоди рыб (Павлов и др., 1994; Акимова, Рубан, 1996; Коваленко, 2004; Давыдова, Черкашин, 2007).

Проблема антропогенного загрязнения водных объектов, в том числе углеводородами, актуальна и для бассейна Белого моря (Богдан, Шкляревич, 2008). Это связано с активной экономической жизнью и намечающимся освоением новых месторождений в данном регионе. Для оценки экологической ситуации в водоемах широко используются различные системы мониторинга и тестирования, включающие наряду с другими биохимические методы (Немова, Высоцкая, 2004; Мензорова, Рассказов, 2007; Aas et al., 2000; Willett, 2000; Teraoka et al., 2003). Физиолого-биохимические механизмы устойчивости представителей беломорской биоты к возрастающим антропогенным нагрузкам изучены недостаточно. В связи с вышесказанным в последние годы этим аспектам стали уделять больше внимания при проведении комплексных исследований в натурных и лабораторных условиях.

В задачу исследования входило изучение влияния нефтепродуктов на активность ферментов мидии *Mytilus edulis* L. – типичного представителя макрозообентоса Беломорского побережья. Эксперименты проводили на ББС ЗИН РАН «Картеш». Плотовых мидий, предварительно акклиматизированных к лабораторным условиям, помещали в аквариумы с морской водой. В качестве действующего нефтепродукта использовали дизельное топливо, которое разводили водой в соотношении 1:9. В опытные аквариумы вносили 15, 50, 100 и 0 мл смеси. Учитывая высокую поглощающую способность морской воды, аквариум с мидиями, которые служили истинным контролем, содержали в отдельной изотермической комнате. Экспозиция составляла 6 суток. Для исключения асфиксии из-за образования нефтяной пленки вода в аквариумах аэрировалась. На биохимический анализ брали сборные пробы ноги, дистального (краевого) и проксимального отделов мантии моллюсков. Приготовление гомогенатов и определение активности лизосомальных ферментов (РНКаза, ДНКаза,  $\beta$ -галактозидаза,  $\beta$ -глюкозидаза, кислой фосфатазы) и альдолазы проводили по методикам, принятым в лаборатории (Высоцкая, Немова, 2008).

Результаты исследований показали, что активность ферментов в исследованных тканях мидий существенно изменялась в зависимости от дозы дизельного топлива (рис. 1, 2). Активность обеих нуклеаз наиболее заметно повышалась в мантии при концентрации нефтепродуктов 0.1 мл/л. В ноге активность ДНКазы была снижена. Выявленные сдвиги в активности нуклеаз могут быть расценены как адаптация к повышенному содержанию нефтепродуктов в среде обитания. Мидии являются мощными фильтраторами (Миронов и др., 1985). Пропуская через себя большую массу воды с нефтепродуктами, они накапливают последние и частично их метаболизируют. Для биосинтеза ферментов, участвующих в утилизации и биотрансформации накопленных нефтепродуктов, необходимо перераспределение внутриклеточных ресурсов. Повышенный уровень РНКазы свидетельствует об активных биосинтетических процессах. Подтверждением этой точки зрения являются данные о том, что у моллюсков под влиянием низких концентраций нефти наблюдается усиленный синтез РНК (Проблемы химического загрязнения..., 1985).

Обращает на себя внимание резкое повышение активности кислой фосфатазы в краевой части мантии во всех вариантах опыта, в ноге оно значительно менее выражено, а при большой концентрации нефтепродуктов отмечено ее снижение. Возможно, это объясняется синтезом большого числа лизосом с набором ферментов, участвующих в превращениях поглощенных нефтепродуктов. Известно, что захваченные чужеродные вещества попадают в лизосомы и там подвергаются деструкции. Наиболее активно эти процессы происходят в краевой части мантии. В мышечной ткани ноги указанная лизосомальная реакция выражена слабо. С другой стороны, максимальное повышение ак-

тивности лизосомальной глюкозидазы под влиянием нефтепродуктов происходило именно в ноге моллюсков. Активность этого фермента в мантии изменялась мало, а при высокой концентрации дизельного топлива даже снижалась. Объяснение данным фактам можно найти в особенностях энергетического обмена мидий в условиях гипоксии, которая развивается под воздействием нефтепродуктов (Головина, Бочко, 2005; Zwaan, Eertman, 1996). В отличие от рыб у моллюсков под влиянием токсикантов наблюдалось снижение активности цитоплазматической альдолазы в дистальной и проксимальной части мантии, небольшое повышение его при малых концентрациях нефтепродуктов и снижение при высокой дозе токсиканта. Переход на анаэробные пути обеспечения энергией у мидий включает в работу неспецифические гликозидазы, обеспечивающие повышенным количеством необходимых субстратов.

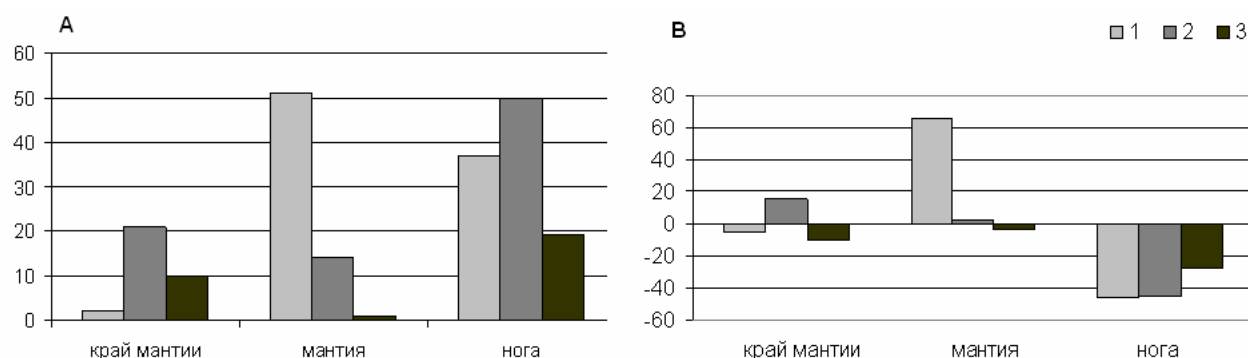


Рис 1. Изменение активности лизосомальных РНКазы (А) и ДНКазы (В) в тканях мидии *Mytilus edulis* L. под воздействие различных концентраций дизельного топлива, % к контролю. Концентрации: 1 – 0.1 мл/л; 2 – 0.3 мл/л; 3 – 1.0 мл/л дизельного топлива.

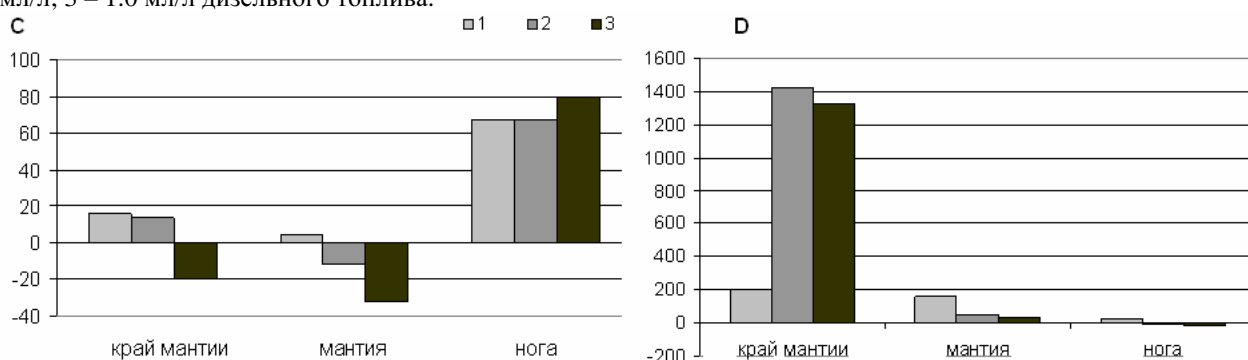


Рис 2. Изменение активности  $\beta$ -глюкозидазы (С) и кислой фосфатазы (D) в тканях мидии *Mytilus edulis* L. под воздействие различных концентраций дизельного топлива, % к контролю. Обозначения как на рис. 1.

Таким образом, в результате исследований установлено, что под влиянием дизельного топлива в организме мидий происходят адаптивные сдвиги активности лизосомальных ферментов, направленные на утилизацию и биотрансформацию нефтепродукта, а также обеспечение процессов жизнедеятельности в токсичной среде. Изменение активности ферментов зависело от дозы испытуемого вещества и специфики выполняемой органом моллюска функции.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов Президента РФ для ведущих научных школ НШ- 4310.2006.4, НШ-306.2008.4 и Программы ОБН РАН «Фундаментальные основы управления биологическими ресурсами» (2006–2008 гг.).

### Литература

- Акимова Н.В., Рубан Г.И. 1996. Систематизация нарушений воспроизводства осетровых (Acipenseridae) при антропогенном воздействии // Вопросы ихтиологии. Т. 36, № 1. С. 65–80.
- Богдан В.В., Шкляревич Г.А. 2008. Оценка состояния прибрежных экосистем Белого моря по эколого-биологическим и биохимическим показателям у амфипод // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. № 1. С. 61–73.
- Высоцкая Р.У., Немова Н.Н. 2008. Лизосомы и лизосомальные ферменты рыб. М.: Наука. 284 с.

Головина И.В., Бочко О.Ю. 2005. Влияние полихлорбифенилов на активность ферментов в тканях мидий *Mytilus galloprovincialis* // Современные проблемы физиологии и биохимии водных организмов. Петрозаводск: КарНЦ РАН. С.45–48.

Давыдова С.В., Черкашин С.А. 2007. Ихтиопланктон Восточного шельфа острова Сахалин и его использование как индикатора состояния среды // Вопросы ихтиологии. Т. 47, № 4. С. 494–505.

Коваленко В.Ф. 2004. Влияние нефтепродуктов на газообмен у сеголеток карпа // Гидробиол. журнал. Т. 40, № 5. С. 65–70.

Мензорова Н.И., Рассказов В.А. 2007. Использование различных тест-систем и биохимической индикации для мониторинга экологического состояния бухты Троицы (Японское море) // Биология моря. Т. 33, № 2. С. 144–149.

Миронов О.Г., Миловидова Н.Ю., Щекатурина Т.Л. 1985. Некоторые особенности устойчивости черноморских мидий к углеводородному загрязнению // Экспериментальная водная токсикология. Вып. 10. Рига: Зинатне. С. 84–87.

Михайлова Л.В. 2005. Регламентация нефти в донных отложениях (ДО) пресноводных водоемов // Современные проблемы водной токсикологии. Тез. докл. Междунар. конф Борок: ИБВВ РАН. С. 97–98.

Немова Н.Н., Высоцкая Р.У. 2004. Биохимическая индикация состояния рыб. М.: Наука. 216 с.

Павлов Д.С., Савваитова К.А., Соколов Л.И., Алексеев С.С. 1994. Редкие и исчезающие животные. Рыбы. М.: Высшая шк. 334 с.

Патин С.А. 2001. Нефть и экология континентального шельфа. М.: Изд-во ВНИРО. 247 с.

Проблемы химического загрязнения вод Мирового океана. Т. 4. Влияние нефти и нефтепродуктов на морские организмы и их сообщества. 1985. / Под ред. О.Г. Миронова. Л.: Гидрометеоиздат. 136 с.

Яблоков А.Я., Остроумов С.А. 1985. Уровни охраны живой природы. Л.: Наука. 176 с.

Aas E., Baussant T., Liewenborg B., Andersen O.K. 2000. PAH metabolites in bile, cytochrome P4501A and DNA adducts as environmental risk parameters for chronic oil exposure: a laboratory experimental with Atlantic cod // Aquat. Toxicol. Vol. 51, no. 2. P. 241–258.

Teraoka H., Dong W., Tsujimoto Y., Iwasa H., Endoh D., Ueno N., Stegeman J.J., Peterson R.E., Hiraga T. 2003. Induction of cytochrome P-450 1A is regulated for circulation failure and edema by 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin in zebrafish // Biophys. Res. Commun. Vjl. 304, no. 2. P. 223–228.

Willett K.L. 2000. Evidence for and against the presence of polynuclear aromatic hydrocarbon and 2,3,7,8-tetrachloro-p-dioxin binding proteins in the marine mussels, *Bathymodiolus* and *Modiolus modiolus* // Aquat. Toxicol. Vol. 48. P. 51–64.

Zwaan A., Eeterman R.H.M. 1996. Anoxic or aerial survival of Bivalves and other euryoxic Invertebrates as a useful response to environmental stress // Comp. Biochem. Physiol. Vol. 113 C, no. 2. P. 299–312.

## СЕЗОННО-ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ТРАНСМИССИИ ПАРАЗИТОВ В ПРИБРЕЖЬЕ БЕЛОГО МОРЯ

**К.В. Галактионов<sup>1</sup>, К.Е. Николаев<sup>1</sup>, В.В. Прокофьев<sup>2</sup>, И.А. Левакин<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Учреждение Российской академии наук Зоологический институт РАН,  
г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Псковский государственный педагогический университет, г. Псков  
e-mail: kirill.galaktionov@gmail.com

Прибрежье Белого моря подвержено резким сезонным изменениям параметров среды (Бергер, 2008). Это сказывается на всех компонентах прибрежных экосистем, не исключая и паразитов, которые используют связанных с морским побережьем животных в качестве хозяев. На Белом море самые массовые паразиты – это трематоды, жизненные циклы которых проходят со сменой нескольких промежуточных и окончательного хозяев. Роль первого промежуточного хозяина всегда играют моллюски, второго – многие виды беспозвоночных и рыб, а окончательного – морские птицы, рыбы и млекопитающие.

На протяжении последних 10-ти лет на Беломорской биологической станции Зоологического института РАН (губа Чупа Кандалакшского залива Белого моря) исследуются сезонные и межгодовые изменения в зараженности трематодами популяций литоральных моллюсков (первых и вторых промежуточных хозяев) и экспериментально изучаются особенности биологии свободноживущих стадий этих паразитов – церкарий. Основное внимание уделяется моллюскам *Hydrobia* spp., *Littorina* spp., с которыми на Белом море связаны своими жизненными циклами более 20 видов трематод, использующих их в качестве первых промежуточных хозяев (Galaktionov, 2001). Наши ис-

следования показали, что паразитирующие в моллюсках фазы (партеногенетические поколения) формируют в своих хозяевах группировки (инфрапопуляции) двух типов – способные и неспособные к самообновлению. В первом случае речь идет о видах сем. Echinostomatidae, Notocotylidae, Heterophyidae и Hemiuridae, партениты которых представлены редиями, способными, наряду с производством церкарий, продуцировать и редий следующего поколения. Неспособные к самообновлению группировки партенит в нашем материале формируют виды сем. Renicolidae и Microphallidae, дочерние спороцисты которых могут производить только церкарий.

В самообновляющихся инфрапопуляциях редий летом преобладают разновозрастные особи, как молодые, так и содержащие развивающихся и зрелых церкарий. В зимне-весенний период преимущественно встречаются группировки с молодыми редиями, в некоторых из этих группировок обнаруживаются старые, погибающие или уже погибшие особи. Церкарии, как зрелые, так и развивающиеся, в зимних группировках немногочисленны, что особенно характерно для беломорских видов нотокотилид, гетерофийд и эхиностоматид. У видов трематод, группировки дочерних спороцист которых неспособны к самовоспроизведению, летом чаще всего встречаются зрелые инфрапопуляции, значительное число спороцист в которых производят церкарий. Процент группировок, состоящих целиком из молодых дочерних спороцист невелик, но существенно возрастает в зимне-весенний период. В это время встречаются и зрелые группировки, но число церкарий в спороцистах у них значительно меньше по сравнению с летним состоянием.

Полученные материалы позволяют утверждать, что функционировавшие летом группировки редий и дочерних спороцист способны переживать холодный период, испытывая те или иные реорганизации демографического состава и характера репродукции, и возобновлять свою функциональную активность летом следующего года. При этом в самообновляющихся инфрапопуляциях некоторые из старых редий отрождают особей новой партеногенетической генерации, вслед за чем погибают. В неспособных к самообновлению группировках дочерних спороцист в холодное время года прекращается развитие новых церкарий, а восстановление этого процесса происходит при весеннем прогреве воды.

В ходе экспериментов с моллюсками *Hydrobia ulvae*, *Littorina littorea* и *L. saxatilis*, зараженных *Himasthla elongata*, *H. continua* (Echinostomatidae), *Cryptocotyle concavum*, *C. lingua* (Heterophyidae), *Maritrema subdolum*, *Microphallus similis*, *M. claviformis* (Microphallidae) и *Renicola* sp. (Renicolidae), установлено, что суточная продукция церкарий не постоянна во времени, а испытывает циклические колебания с интервалом 4–12 суток, в зависимости от видовой принадлежности личинок (Прокофьев, 2006; Galaktionov et al., 2006). По-видимому, эти колебания связаны с состоянием производящих церкарий группировок партенит и отражают особенности взаимоотношений в конкретных паразито-хозяинных системах партениты-моллюск. Оказалось, что для каждого из изученных видов трематод имеется определенная «критическая» температура, ниже которой продукция партенитами церкарий (и, соответственно, их эмиссия) существенно замедляется, либо вообще прекращается. По этому признаку можно выделить группу «теплолюбивых» (сем. Echinostomatidae) и «холодостойких» (сем. Heterophyidae и Microphallidae) видов. Эмиссия церкарий первой группы блокируется уже при температуре 5°C, тогда как второй только при понижении температуры воды до 3°C. После краткосрочного снижения температуры воды, что обычно летом, эмиссия быстро восстанавливается. Если речь идет о длительном и стабильном похолодании (длительное пребывание зараженных моллюсков при температурах критических и околокритических значений), то восстановления эмиссии не происходит. При переносе таких моллюсков в воду с оптимальной температурой они первые 2–3 дня выделяют единичных церкарий, после чего эмиссия прекращается. В этой связи можно прогнозировать, что пролонгирование теплого сезона вследствие глобального потепления приведет к увеличению периода, когда возможна эмиссия церкарий. В результате может увеличиться интенсивность заражения вторых промежуточных хозяев и далее по цепочке хозяев.

Сезонная динамика личинок (метацеркарий) трематод во вторых промежуточных хозяевах прослежена для массовых видов *Himasthla elongata* и *Renicola* sp., паразитирующих в мидиях *Mytilus edulis*. Установлено, что сезонные колебания в экстенсивности инвазии мидий метацеркариями обоих изученных видов не выражены, значение этого параметра составляло 75–80% во все сезоны. В то же время индекс обилия (ИО – среднее число метацеркарий в одной мидии данной выборки, с учетом незараженных особей) имел тенденцию к росту с июня по октябрь. Именно в теплый период возможно заражение мидий церкариями. Зимой происходит гибель части зараженных

моллюсков и ИО к июню понижается. Выявлены межгодовые различия в успехе трансмиссии паразитов. В условиях теплого лета 2005 и 2006 гг. средней прирост численности метацеркарий на литоральном полигоне с июня по октябрь (в расчете на одного моллюска) составил 3.8 и 5.1 для *H. elongata* и 6.5 и 7.6 для *Renicola* sp., соответственно. В более холодные 2007 и 2008 гг. прироста численности метацеркарий за лето не наблюдалось, причем в 2007 г. отмечено снижение ИО, а в 2008 г. его значение оставалось постоянным с июня по ноябрь. Полученные данные хорошо увязываются с приведенными выше материалами по температурной зависимости эмиссии церкарий *H. elongata* и *Renicola* sp. из зараженных первых промежуточных хозяев – моллюсков *Littorina* spp. Чем ниже температура, тем слабее эмиссия церкарий, соответственно, меньшее их число может успешно внедряться во вторых промежуточных хозяев – мидий.

Приведенные материалы свидетельствуют о ярко выраженной сезонной обусловленности процессов трансмиссии трематод в прибрежных экосистемах Белого моря. Нами показано, что вопреки бытовавшим ранее представлениям, зимой не происходит массовой гибели зараженных трематодами моллюсков. Значительная их часть благополучно переживает зиму и служит, таким образом, естественным резервуаром для выживания паразитов в неблагоприятный зимний сезон. В это время года инфрапопуляции партенит прекращают продукцию церкарий, и в них могут происходить (у самообновляющихся группировок) пристройки демографического состава. При весеннем прогреве воды эти группировки возобновляют продукцию трансмиссивных личинок (церкарий). К лету созревают молодые группировки спороцист и редий и в моллюсках, заразившихся летом-осенью предыдущего года. Суммарное же число церкарий, которое производят группировки партенит за теплый сезон, прямо коррелирует с температурой воды. Следовательно, этот фактор во многом определяет и уровень заражения популяций вторых промежуточных хозяев, что и показали полученные нами данные о межгодовых различиях в заражении мидий церкариями двух исследованных видов трематод. Зараженность же вторых промежуточных хозяев прямо связана с успехом заражения окончательных хозяев, в которых вырастает половозрелая гермафродитная особь, продуцирующая яйца с личинками, инвазионными для моллюсков-первых промежуточных хозяев.

Можно констатировать, что в условиях Белого моря трематоды сохраняются на протяжении всего года в виде группировок партенит и метацеркарий в первых и вторых промежуточных хозяевах, соответственно. Окончательные хозяева (птицы и рыбы) присутствуют в прибрежных экосистемах только летом, когда и становится возможной реализация всего жизненного цикла.

*Работа поддержана грантами РФФИ N 07-04-01675 и ИНТАС N 05-1000008-8056.*

### Литература

- Бергер В.Я., 2008. Продукционный потенциал Белого моря. СПб: Зоологический институт РАН. 292 с.
- Прокофьев В.В., 2006. Стратегии заражения животных-хозяев церкариями трематод. Автореф. Дис. ... докт. биол. наук. СПб: Зоологический институт РАН. 50 с.
- Galaktionov K.V., 2001. Parasites of common animals and animals of marketing value / Eds. V. Berger, S. Dahle, St. Petersburg–Tromsø: Derzavets Publ. P. 95–110.
- Galaktionov K.V., Irwin S.W.B., Prokofiev V.V., Saville D.H., Nikolaev K.E., Levakin I.A., 2006. Trematode transmission in coastal communities – temperature dependence and climate change perspectives. 11th International Congress of Parasitology (ICOPA XI). Glasgow (Scotland, United Kingdom), August 6–11, 2006. Medimond International Proceedings: P. 85–90.

## SEASONALLY-DEPENDENT CHANGES IN PARASITE TRANSMISSION IN COASTAL WATERS OF THE WHITE SEA

**K.V. Galaktionov<sup>1</sup>, K.E. Nikolaev<sup>1</sup>, V.V. Prokofiev<sup>2</sup>, I.A. Levakin<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Pskov State Pedagogical University, Pskov, Russia

e-mail: kirill.galaktionov@gmail.com

The seasonal climatic changes are well pronounced at the White Sea that exerts profound influence on all components of coastal ecosystems including parasites. Trematodes are the mass parasites of marine birds of the White Sea and coastal invertebrates play a role of intermediate hosts in their complex life cycles. Our long-term studies on trematodes in intertidal communities of the White Sea show that all aspects of larval trematode development and activity associated with their molluscan (first intermediate)

hosts display regular seasonal variations that are ultimately temperature dependant. Prolonged periods in cold water modify the structure of intramolluscan stages (groups of sporocysts/rediae inside the infected mollusc) in that way that the production of transmissive larvae (cercariae) is ceased. In spring the intramolluscan groups of sporocysts and rediae resort to their functional mode and cercarial production resumes. Cercarial release from molluscan hosts often displays daily rhythms and longer periodic patterns of increased release that are temperature related. In addition, total cercarial production (over the entire transmission period) is correlated positively with water temperature. The same applies to cercarial infectivity for second intermediate hosts. At low temperatures (under 3–5°C for cercariae at the Barents and White Seas) the longevity of cercariae is prolonged but their infectivity is lessened. In the course of experimental study in the model littoral site of the White Sea it was shown an interannual variability in transmission success of cercariae (percent of cercariae infected the second intermediate host). The value of this parameter was lessened in «cold summer» years as compared with «warm summer» ones. It is clear that trematode transmission from first to second intermediate host only occurs above a critical temperature. An increase in water temperature due to global warming would therefore increase the window for larval trematode transmission and result in an increase of marine animal parasitism in northern coastal ecosystems.

## **ОСОБЕННОСТИ МЕТАБОЛИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ РЫБ В УСЛОВИЯХ РАЗНОГО УРОВНЯ ТОКСИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДОЕМОВ**

**В.П. Гандзюра<sup>1</sup> Л.А., Гандзюра<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, г. Киев, Украина

<sup>2</sup>Международный открытый университет развития человека «Украина», Международный центр экобезопасности, г. Киев,  
e-mail: v-gandzyura@email.kiev.ua

Глобальное токсическое загрязнение гидросферы приводит к формированию качественно новых условий существования живых организмов, оказывая значительное влияние на весь ход их метаболических процессов. Среди токсикантов особое место занимают соединения тяжелых металлов, уровень которых постоянно возрастает практически во всех водоемах, куда они поступают со всей площади водосборного бассейна. Нарушая физиолого-биохимические процессы, тяжелые металлы оказывают существенное влияние на все стороны метаболизма рыб [4]. Поэтому изучение изменений метаболических процессов рыб в токсической среде имеет важное значение как для прогнозирования дальнейших изменений метаболизма при разных уровнях токсической нагрузки, учета особенностей метаболических процессов в токсической среде, равно как и для разработки путей коррекции метаболизма в условиях токсификации водоемов. Особую роль в регуляции метаболических процессов и энергетическом обеспечении играет фосфор, роль которого в жизнедеятельности гидробионтов, включая рыб, детально изучена [8]. Рядом исследований установлено, что элементы фосфорного баланса рыб очень чувствительны к изменению отдельных параметров среды [2, 3]; имеются данные об уровне его содержания в теле рыб [1]. Однако сведения о балансе фосфора у рыб в условиях повышенного содержания тяжелых металлов в литературе единичны [2, 5]. Учитывая сопряженность энергетического и фосфорного обмена [8], целью наших исследований было установление изменений уровня дыхания, удельной скорости роста, эффективности конвертирования пищи, структуры и сопряженности энергетического и фосфорного баланса рыб при разных уровнях токсического загрязнения воды соединениями тяжелых металлов.

### **Материал и методы исследований**

Использовали общепринятые в гидробиологии, ихтиологии и экотоксикологии методы, анализ которых детально представлен в ряде работ [1–4]. Исследование экскреторно–абсорбционных процессов проводили на акклиматизированных в течение двух недель к условиям эксперимента рыбах. Количество экскретированного за сутки фосфора рассчитывали по разнице его содержания в аквариумах с рыбами и в контрольном после суточной экспозиции. Фосфор определяли колориметрическим молибдатно-сурьмяновым методом с аскорбиновой кислотой [10] с последующей экстракцией молибденового комплекса гексанолом [11]. Соответствующие концентрации тяжелых металлов

поддерживали путем ежедневной смены воды и внесением определенного количества маточного раствора  $K_2Cr_2O_7$ ,  $NiSO_4$ ,  $CdCl_2$ ,  $Pb(NO_3)_2$ . Параллельно с изучением интенсивности экскреции фосфора у тех же рыб измеряли уровень потребления кислорода методом замкнутых респирометров. Во всех аквариумах контролировали содержание кислорода (которое находилось в пределах 6,7–8,6 мг  $O_2$ /л), свободной углекислоты (около 0,1 ммоль/л), гидрокарбонатов (287–317 мг/л), и pH (7,1–7,7). В качестве корма использовали трубочник *Tubifex tubifex* и личинок хирономид *Chironomidae larvae*. Объем воды в каждом опыте был таким, чтобы плотность посадки составляла около 1,5 грамма ихтиомассы на литр, количество рыб в каждом аквариуме обычно составляло 10–15 экземпляров (согласно [6]). Температура воды была в пределах  $20 \pm 2^\circ C$ , постоянная аэрация осуществлялась с помощью микрокомпрессоров. В конце опытов рыб высушивали, гомогенизировали, сжигали в серной кислоте с перекисью водорода, после чего определяли содержание в остатке общего фосфора [10]. Статистическая обработка проведена по общепринятым методам с использованием компьютерных программ.

### Результаты исследований и их обсуждение

Во всех экспериментах с ионами никеля, хрома, свинца и кадмия нами установлено снижение удельной скорости роста и эффективности трансформации рациона всеми исследованными видами рыб, в частности, в опытах с кадмием получены следующие результаты (табл. 1).

Таблица 1

**Рост и эффективность трансформации рациона у *Poecilia reticulata* (возраст 1–2 месяца) при разных концентрациях  $Cd^{2+}$  в воде ( $M \pm m$ ,  $n = 13$ )**

Концентрация кадмия, мг $Cd^{2+}$ /л	Удельная скорость роста, % в сутки	Эффективность трансформации рациона, %
Контроль	$7,65 \pm 0,21$	$21,2 \pm 1,4$
0,001	$6,11 \pm 0,17$	$16,6 \pm 1,2$
0,010	$4,93 \pm 0,18$	$13,0 \pm 1,0$
0,100	$2,53 \pm 0,23$	$7,8 \pm 0,9$
1,000	$0,98 \pm 0,11$	$2,0 \pm 0,8$

Детальное исследование структуры и сопряженности энергетического и фосфорного балансов рыб при разных концентрациях  $Pb^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Cr^{6+}$ ,  $Cd^{2+}$  позволило установить следующее. При концентрациях тяжелых металлов от 0,1 до 10 ГДК в большинстве экспериментов установлено резкое возрастание уровня стандартного обмена (в 2,5–6,0 раз) и снижение соотношения (общий обмен)/стандартный. Это обусловлено значительным увеличением энергетических трат на поддержание жизнедеятельности организма в токсической среде. При этом ресурсов на рост, развитие и размножение остается все меньше (пропорционально уровню загрязнения среды). Это, в свою очередь, приводит к снижению эффективности использования рациона на рост. Одновременно установлено существенное разбалансирование вещественно-энергетических процессов у рыб при повышенном уровне тяжелых металлов в воде. При повышенном содержании тяжелых металлов в воде (от 0,1 ПДК и выше) во всех случаях резко возрастает интенсивность экскреции фосфора. Причем нарушение фосфорного обмена отмечено у всех исследованных видов рыб. В контроле уровень экскреции фосфора зависит, главным образом, от видовой принадлежности, этапа развития, возраста и условий кормления. При этом при питании уровень экскреции резко снижается у большинства трофических групп. Лишь у ихтиофагов питание до насыщения приводит к возрастанию экскреции фосфора (по сравнению с голодавшими рыбами) более чем в 5 раз. При этом у зоопланктонофагов и бентофагов в условиях токсического загрязнения среды установлено снижение содержания общего фосфора в теле в процессе роста, в то время как у ихтиофагов (щука, сом) такого снижения не отмечено, что объясняется особенностями их питания (относительное содержание фосфора в их рационе в 1,5–2,0 раза выше, чем у бентофагов и зоопланктонофагов). Как показали наши эксперименты, коррекция рационов рыб в условиях токсического загрязнения водной среды позволяет решить этот вопрос путем повышенного содержания фосфора в кормах, что компенсирует его потери вследствие усиленной его экскреции.



Установлено, что уровень экскреции фосфора существенно зависит от величины суточного рациона и от концентрации токсиканта в воде. Так, у двухмесячной золотой рыбки в контроле при питании до насыщения имела место абсорбция фосфора из воды, а при голодании и при рационе, составляющем половину от максимального, наблюдалась его экскреция. В условиях концентрации хрома от 0,001 (что составляет 1 ПДК) до 10,000 мг/л во всех случаях имела место лишь экскреция. Причем уровень экскреции фосфора возрастал пропорционально увеличению концентрации хрома в воде. Аналогичная зависимость установлена и в опытах с повышенным содержанием кадмия в воде (табл. 2).

Таблица 2

**Интенсивность экскреции фосфора у двухмесячной золотой рыбки (масса тела  $832 \pm 23$  мг) в контроле и при разной концентрации кадмия в воде,  $M \pm m$ ,  $n=15$**

Величина рациона, доли от максимального	Экскреция фосфора, мкг Р/г массы тела в сутки при разных концентрациях кадмия в воде			
	Контроль	0,001 Cd <sup>2+</sup> /л	0,010 мг Cd <sup>2+</sup> /л	0,100 Cd <sup>2+</sup> /л мг
0	1,67 $\pm$ 0,09	2,09 $\pm$ 0,10	3,21 $\pm$ 0,15	2,98 $\pm$ 0,17
0,5	0,17 $\pm$ 0,04	0,58 $\pm$ 0,11	0,84 $\pm$ 0,08	0,90 $\pm$ 0,12
1,0	-0,41 $\pm$ 0,03	0,10 $\pm$ 0,01	0,22 $\pm$ 0,06	0,47 $\pm$ 0,05

Аналогичные исследования с линем, лещом и плотвой дали сходные результаты, в частности, в опытах с плотвой получены следующие результаты (табл. 3).

Таблица 3

**Уровни экскреции фосфора и дыхания у *Rutilus rutilus* (масса тела  $12,76 \pm 0,73$  г) в контроле и при концентрации хрома в воде 1 мг/л при разных величинах суточного рациона,  $M \pm m$ ,  $n = 6$**

Рацион, доли от максимального	Экскреция фосфора, мкгР /г сут <sup>-1</sup>		Уровень дыхания, мг О <sub>2</sub> /г сут <sup>-1</sup>	
	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
0	1,93 $\pm$ 0,08	2,56 $\pm$ 0,09	11,53 $\pm$ 0,71	8,65 $\pm$ 0,32
0,5	,06 $\pm$ 0,01	1,05 $\pm$ 0,10	7,89 $\pm$ 0,36	6,18 $\pm$ 0,18
1,0	-0,89 $\pm$ 0,09	1,09 $\pm$ 0,08	25,19 $\pm$ 1,87	11,73 $\pm$ 0,84

Таким образом, во всех случаях имеет место общая закономерность: величина суточного рациона оказывает большое влияние на изученные метаболические процессы рыб. При питании рыб до насыщения интенсивность дыхания у рыб достигает максимальных значений, что согласуется с литературными сведениями [5]. Рацион, составляющий часть от максимального, приводит или к некоторому снижению интенсивности дыхания (рыба ведет себя более спокойно), или же к незначительному его увеличению. При голодании уровень экскреции фосфора находится на определенном (для каждого вида рыб, каждой размерно-возрастной группы) уровне. При рационах, составляющих 0,5 от величины максимального, наблюдается снижение уровня экскреции. Потребление же пищи до насыщения во всех опытах приводило к одному и тому же результату: у рыб наблюдалась абсорбция фосфора из воды.

При повышенном содержании тяжелых металлов в воде во всем диапазоне исследованных концентраций установлено увеличение интенсивности экскреции фосфора. При питании до насыщения рыбы также экскретировали фосфор, а не поглощали его из воды, как это имело место в контроле.

Таким образом, повышенное содержание соединений тяжелых металлов в воде приводит к существенным нарушениям экскреторно-абсорбционных процессов у рыб. Причем наиболее существенные отклонения от контроля наблюдаются в условиях питания рыб до насыщения. В этом случае имеющая место в контроле абсорбция фосфора из воды сменяется его экскрецией. Важное значение имеет также возраст подопытных рыб. Так, однемесячная молодь пяти исследованных нами видов рыб абсорбировала фосфор в условиях голодания, что не наблюдалось у рыб старших возрастных групп. Это связано с наиболее активными процессами роста и развития, а также с возрастными особенностями фосфорного обмена рыб.

В связи с установлением существенных нарушений экскреторно-абсорбционных процессов фосфорного обмена у рыб в условиях повышенного содержания тяжелых металлов в воде мы исследовали влияние шестивалентного хрома водной среды на уровень содержания фосфора в теле подопытных рыб. Для этого рыб содержали при концентрациях хрома 0,05 мг/л в течение 45 суток. Полученные результаты свидетельствуют, что в этих условиях происходит снижение содержания фосфора в теле всех исследованных видов рыб по сравнению с контролем (табл. 4).

Таблица 4

**Содержание фосфора в теле рыб в начале и в конце 45-ти суточного опыта в контроле и при концентрации хрома 0,05 мг  $\text{Cr}^{6+}$  /л,  $\text{M} \pm \text{m}$**

Виды рыб	n	Масса тела, мг		Содержание сухого вещества в конце опыта, %	Содержание фосфора в сухом веществе, %	
		В начале опыта	В конце опыта		Контроль	Опыт
Золотая рыбка	25	16 $\pm$ 2	536 $\pm$ 27	17,59 $\pm$ 0,49	2,279 $\pm$ 0,176	1,804 $\pm$ 0,187
	20	548 $\pm$ 17	2243 $\pm$ 64	19,76 $\pm$ 0,51	2,302 $\pm$ 0,163	2,054 $\pm$ 0,189
Плотва	15	954 $\pm$ 14	2963 $\pm$ 76	21,32 $\pm$ 0,48	2,416 $\pm$ 0,148	2,158 $\pm$ 0,196
Линь	15	1245 $\pm$ 17	3423 $\pm$ 59	20,41 $\pm$ 0,39	2,401 $\pm$ 0,173	2,285 $\pm$ 0,232
Лещ	16	1165 $\pm$ 23	4734 $\pm$ 78	2106 $\pm$ 0,43	2,526 $\pm$ 0,189	2,101 $\pm$ 0,309
Окунь	12	1617 $\pm$ 38	4195 $\pm$ 81	20,89 $\pm$ 0,72	2,902 $\pm$ 0,201	2,583 $\pm$ 0,315
	14	36 $\pm$ 3	1112 $\pm$ 67	19,74 $\pm$ 0,54	2,812 $\pm$ 0,159	2,147 $\pm$ 0,187

При этом обращает на себя внимание тот факт, что максимальное снижение уровня фосфора в теле подопытных рыб по сравнению с контролем характерно для более молодых особей: достаточно сравнить результаты для золотой рыбки и окуня разного возраста и массы тела (табл. 4). Это связано с тем, что наиболее интенсивно фосфор накапливается у рыб на ранних этапах развития [1–3], поэтому нарушение экскреторно-абсорбционных процессов в этот период представляет особую опасность для рыб.

Таким образом, величина суточного рациона оказывает огромное влияние на интенсивность экскреции фосфора: при питании до насыщения рыбы лишь поглощали фосфор из воды (в условиях контроля), в то время как при голодании отмечается его экскреция. Максимальный уровень экскреции (при отсутствии в среде токсикантов) отмечается или при голодании, или при рационе, составляющем 0,25 от максимального; при рационе 0,5 от максимального во всех случаях уровень экскреции фосфора существенно снижался или имела место его абсорбция из воды. При концентрации тяжелых металлов в воде от 1 ПДК и выше при всех значениях величины суточного рациона имела место лишь экскреция фосфора, в то время как в контроле при питании до насыщения рыбы поглощали фосфор из воды.

Нами также установлено, что даже незначительное повышение уровня тяжелых металлов в воде (от 0,1 ПДК) вызывает резкое увеличение амплитуды колебаний практически всех исследованных нами показателей рыб. Следует особо подчеркнуть, что исследование метаболических процессов рыб в условиях токсического влияния чаще всего оценивается по конечным результатам – как изменились те или иные показатели в конце эксперимента, что не позволяет учитывать колебаний изучаемых параметров. В большинстве наших экспериментов при определенных концентрациях тяжелых металлов средние значения соответствующих показателей достоверно не отличаются от контроля, но резко увеличивается амплитуда их колебаний во времени (табл. 5).

Таблица 5

**Показатели роста *Rutilus rutilus* при разных концентрациях  $\text{Cd}^{2+}$  в воде**

Статистические показатели	Удельная скорость роста (% в сутки) при разных концентрациях $\text{Cd}^{2+}$ в воде				
	Контроль	0,0005 мг $\text{Cd}^{2+}$ /л	0,001 мг $\text{Cd}^{2+}$ /л	0,010 мг $\text{Cd}^{2+}$ /л	0,100 мг $\text{Cd}^{2+}$ /л
Среднее значение	6,347	6,329	6,290	5,987	2,137
Дисперсия	0,11589	19,20293	12,08432	6,45301	02,10034

Согласно имеющимся в литературе сведениям в области надежности технических систем известно, что шум транзисторов и других электронных устройств в низкочастотном диапазоне дает существенную информацию о долговечности элементов: чем выше амплитуда шумов, тем выше вероятность выхода функционального параметра за пределы его допустимых значений, соответственно, выше вероятность отказа системы по этому параметру. С позиции теории надежности усиление «шумов» в организме следует ожидать при патологических состояниях [3–4]. В биологических системах флуктуации известны давно. Спонтанно флуктуируют активности ферментов в растворах, много (если не все) физиологические показатели у людей, животных и растений. Исходя из аналогии с техническими системами, можно ожидать усиления флуктуаций физиологических и других показателей. Биохимические методы позволяют наблюдать изменения клеточного метаболизма, которые происходят раньше от физиологических и морфологических отклонений [9], и таким образом осуществлять раннюю диагностику патологических процессов.

Таким образом, в токсической среде происходит нарушение сопряженности вещественно-энергетических процессов у рыб: существенное изменение структуры энергетического баланса, резкое возрастание экскреции фосфора, что в большинстве случаев приводит к снижению его содержания в теле, существенные изменения показателей роста и эффективности трансформации вещества и энергии. Первой реакцией на токсическое воздействие является резкое увеличение амплитуды колебаний всех исследованных физиолого-биохимических показателей, дальнейшая картина существенно зависит от величины доступной энергии (что согласуется с теорией оптимального питания [7]), уровня токсичности среды, видовой и возрастной чувствительности. Показана возможность приспособления к определенному уровню токсической нагрузки при достаточном энергетическом обеспечении, что согласуется с имеющимися в литературе сведениями [2–5, 7].

### Выводы

1. В условиях токсического загрязнения водной среды соединениями тяжелых металлов установлены существенные нарушения метаболических процессов у рыб – изменение структуры энергетического баланса (в первую очередь, за счет резкого увеличения стандартного обмена); существенное снижение эффективности трансформации рациона, снижение темпа роста, нарушение фосфорного обмена (резкое возрастание экскреции фосфора) и сопряженности вещественно-энергетических процессов.

2. При повышении уровня тяжелых металлов в среде обитания у рыб резко возрастают колебания значений всех исследованных показателей – удельной скорости роста, эффективности трансформации вещества и энергии, уровня дыхания и др. Это необходимо учитывать при исследовании метаболических процессов рыб, а резкое увеличение амплитуды колебаний соответствующих показателей метаболизма позволяет осуществлять допороговую диагностику экотоксикологических эффектов.

3. Установлено, что повышенные концентрации  $\text{Cr}^{6+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  в воде (от 1 ПДК и выше) существенно влияют на структуру фосфорного баланса рыб, вызывая значительное увеличение уровня экскреции фосфора, что приводит к уменьшению его содержания в теле. На экскреторно-абсорбционные процессы у рыб существенное влияние оказывает величина суточного рациона.

4. При изучении метаболических процессов у рыб необходимо учитывать уровень токсического загрязнения водоемов. В то же время количественные характеристики метаболических процессов рыб могут эффективно использоваться в системе оценки уровня загрязнения водоемов и качества среды обитания рыб.

### Литература

- Гандзюра В.П., 1985. Содержание фосфора в теле рыб днепровских водохранилищ // Гидробиол. журн. Т. 21, №6. С. 84–87.
- Гандзюра В.П., 2002. Продуктивность биосистем в условиях токсического загрязнения среды тяжелыми металлами. Киев, ВГЛ «Обрії». 248 с. (укр.)
- Гандзюра В.П., 2003. Фосфорный баланс рыб при действии тяжелых металлов ( $\text{Cr}^{6+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ) водной среде // Гидробиол. журн. Т. 39, № 5. С. 92–100.
- Гандзюра В.П., Грубинко В.В., 2008. Концепция вредоносности в экологии – Киев-Тернополь, Из-во Терноп. нац. пед. ун-та. 144 с. (укр.)

Гандзюра В.П., Гандзюра Л.А., 2008. Подходы к оценке качества вод и состояния экосистем в условиях антропогенной нагрузки // М-лы Междунар. конф. по водной токсикологии и гидроэкологии «Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы. Критерии оценки качества воды». Борок, Россия. С. 37–41.

Лукьяненко В.И., Карпович Т.А., 1989. Биотестирование на рыбах / Методические рекомендации/. АН СССР. – 96 с.

Михеев В.Н., 1988. Пищевое поведение животных и принцип оптимальности // Экологическая энергетика животных. Всесоюзн. Совещ. (31 октября – 3 ноября 1988 г., г. Суздаль): Тез. докл. Пущино. С. 112–113.

Романенко В.Д., Арсан О.М., Соломатина В.Д., 1982. Кальций и фосфор в жизнедеятельности гидробионтов. Киев: Наук. думка. 152 с.

Сидоров В.С., Немова Н.Н., Высоцкая Р.У., 2002. Использование интегрального биохимического индекса для оценки ПДК и биохимических изменений у рыб при токсических воздействиях // Современные проблемы водной токсикологии. Всероссийская конф. с участием специалистов из стран ближнего и дальнего зарубежья (19–21 ноября 2002 г, Борок): Тез. докл. Борок. С. 121–122.

Golterman H.L., 1969. Methods for Chemical Analysis of Fresh Waters. IBP, Handbook №8. Oxford and Edinburg. 172 p.

Stephens K., 1963. Determination of low phosphate concentration in lake and marine water // Limnol. Oceanogr. V. 8. P. 361–362.

## FEATURES OF METABOLIC PROCESSES OF FISHES UNDER THE CONDITIONS OF DIFFERENT LEVEL OF TOXIC POLLUTION OF RESERVOIRS

V.P. Gandzyura<sup>1</sup>, L.A. Gandzyura<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kyiv Taras Shevchenko National University, Ukraine

<sup>2</sup>Opened International University of development of the person «Ukraine» &  
International Centre for Environmental Security, Kyiv, Ukraine  
e-mail: v-gandzyura@email.kiev.ua

Results of own long-term authors researches of general laws of metabolic processes in fishes organism under the conditions of different level of toxic pollutions of waters (mainly by heavy metals –  $\text{Cr}^{6+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ) have been analyzed and generalized. The essential infringements of energetic and phosphorus balance were estimated under the conditions of increases level of  $\text{Cr}^{6+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  and  $\text{Ni}^{2+}$  in water, which cause considerably increasing of phosphorus excretion and reducing of its content in the fish body. Substance-energetic processes in conditions of heavy metals water pollution are revealed. It also has been shown, that even the insignificant increase of heavy metals' level in water (more than 0,1 WHPL) causes sharp fluctuations of meanings of all metabolic parameters. The general laws of these fluctuations were investigated at a different level of water pollution. The general laws of change of productive parameters of fishes under conditions of a various level of toxic pressure were revealed. The level of toxic effects essentially depends on size of energy accessible for organism. Possibility of early diagnostics of toxic effects by increase oscillatory processes in an organism has been established.

## ДИНАМИЧНОСТЬ СОСТАВА ФЛОРЫ КОПАНЕЙ

Э.В. Гарин

Учреждение Российской академии наук Институт биологии внутренних вод  
им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Ярославская обл., Россия  
e-mail: garin@ibiw.yaroslavl.ru

Традиционно во флористических исследованиях используется *кумулятивный подход*, при котором список флоры для каждого объекта или его участка (например, копани, отрезка железнодорожного полотна и т.п.) пополняется в течение ряда лет в ходе каждого повторного обхода. В основу этого подхода положено представление о том, что исследователь в силу различных причин (в том числе и субъективных) не может выявить весь список флоры, и повторное обследование позволяет выявить его полнее. Сложно не согласиться с этим мнением, и автор первоначально придерживался именно такого подхода при изучении флоры копаней. Однако анализ флористических списков для каждой отдельно взятой копани за несколько смежных лет выявил высокую степень динамичности их флоры.

## Введение

Первые искусственные водоёмы были созданы на нашей планете человеком тысячи лет назад (Вендров и др., 1968), а копаные водоёмы наравне с каналами широко использовались ещё в Южной Месопотамии – на юге Шумерского государства (Емельянов, 2001), на севере Древней Индии и в других регионах планеты, где возникали первые государства. В последующий период человеческой истории количество искусственных водоёмов становится всё больше, их значение в жизни человека возрастает.

В связи с развитием рыбоводства, мелиоративного и сельского хозяйства, ландшафтного строительства всё большее распространение получают разнообразные антропогенные аквальные системы – водохранилища, каналы, карьеры, арыки, пруды. Об интенсивности развития прудового хозяйства говорят следующие цифры: только за один 1940 год в СССР построено 20.000 новых и отремонтировано около 25.000 старых колхозных прудов (Исаев, Дорохов, 1946). К началу 1970-х годов на территории только Украинской ССР создано около 22.000 прудов с общей площадью свыше 2.300 км<sup>2</sup> (Филь, 1971). К середине 80-х годов XX века на территории СССР создано около 150 тысяч прудов суммарной площадью более 500 тысяч га (Авакян и др., 1987).

Копаные водоёмы были и до сего времени остаются непременным компонентом практически любого сельскохозяйственного и городского ландшафта. Их назначение разнообразно и отражено в их названиях: рыбоводные, водопойные, бытовые, пожарные, рекреационные, среди последних – парковые, декоративные, купальные, ландшафтные. В ряде регионов России копани являются преобладающими по количеству и суммарной поверхности водного зеркала водоёмами.

На примере ряда водоёмов северо-востока Ярославской области рассмотрим, насколько сильно изменяется состав флоры копаней за несколько смежных лет.

## Материалы и методы

Исследования копаней проводились в ходе полевых сезонов 1996–2008 гг. на территории северо-запада Ярославской обл. Было обследовано 187 копаных водоёмов Брейтовского, Мышкинского, Некоузского, Рыбинского р-нов Ярославской обл. Среди них только 10 водоёмов наблюдались ежегодно в течение трёх смежных лет (2005–2007 гг.). Это 6 водоёмов в пос. Борок, и по две копани в садоводческом товариществе № 1 (далее – СТ1) и в д. Григорово; все перечисленные водоёмы находятся на территории Некоузского района Ярославской области. Ещё 54 копани изучались в течение 2 смежных лет. Сбор материала производился в полевых условиях методом сплошного обследования. По всем объектам составлены полные флористические списки с указанием обилия каждого вида и картосхемы с указанием линейных размеров водоёмов.

## Результаты и обсуждение

Поскольку в первые годы исследований о динамичности состава копаней нам было ничего неизвестно, в этот период одни и те же водоёмы повторно обследовались не каждый год. Основной упор в исследовании делался на то, чтобы описать по возможности большее количество разнообразных водоёмов копаного типа. Лишь в последние годы наши наблюдения стали проводиться над ограниченным числом водоёмов с тем, что бы отследить изменение флористического состава небольшой группы водоёмов по годам. Полученные данные позволяют говорить о высокой степени динамичности флористических списков. Несколько примеров, приведённых ниже, позволяют наглядно проиллюстрировать сказанное.

В 2003 и 2004 гг. нами была описана копань в д. Добрино Рыбинского р-на. При этом в 2003 году было отмечено 20 видов, а в 2004 году – 19 видов макрофитов, флористический состав частично перекрывался. Сложив оба списка, мы получили общий список из 30 видов. При этом только 9 видов были отмечены в оба года, остальные 21 – только в один из годов. Почти все виды имели обилие 1 (т.е. низкое, по пятибалльной шкале), три вида (*Glyceria fluitans* (L.) R. Br., *Carex acuta* L. и *Carex vesicaria* L.) снизили своё обилие с 2 до 1, и только 1 вид – *Elodea canadensis* Michx. – сохранил обилие на уровне 3. Коэффициент сходства списков флоры по Жаккару за два смежных года составил 30%. Таким образом, в данном случае правильнее было бы говорить уже не о сходстве, а о различии флористических списков одной копани для двух смежных лет.

Во флоре 10 копаней Некоузского р-на, которые изучались три года подряд (2005–2007 гг.), доля видов, обнаруженных в каждый из трёх смежных годов, весьма невелика и составляет меньше половины от суммарного за три года списка флоры водоёма: 20–29% на водоёмах СТ1, 28–31% в д. Григорово, 32–42% в пос. Борок. Однако какой-либо закономерности в изменении состава флоры обнаружить не удалось, например, один вид мог увеличить своё обилие на одном водоёме, и уменьшить его на другом в эти же годы.

Такое изменчивое сочетание видов макрофитов на отдельно взятой копани в смежные годы определяется сложным сочетанием экологических факторов, каждый из которых на столь небольшом водоёме может внести существенные коррективы в прорастание и увеличение обилия отдельных видов в одни годы, и уменьшение обилия, до исчезновения, – в другие. На рис. 1 показано, как в зависимости от уровня воды прорастает однолетник на двух рядом расположенных копанях в два смежных года. Такое поведение отмечалось, например, у *Oenanthe aquatica* (L.) Poir. на копанях д. Григорово. Однако стоит заметить, что не во всех случаях причины появления или исчезновения тех или иных видов макрофитов могут быть столь очевидны. Например, сложно объяснить поведение *Typha latifolia* L., который полностью исчез на нескольких исследованных нами копанях в садоводческом товариществе пос. Борок, при этом интенсивно разросся и за несколько лет заполнил собою выгонную копань у пос. Борок.

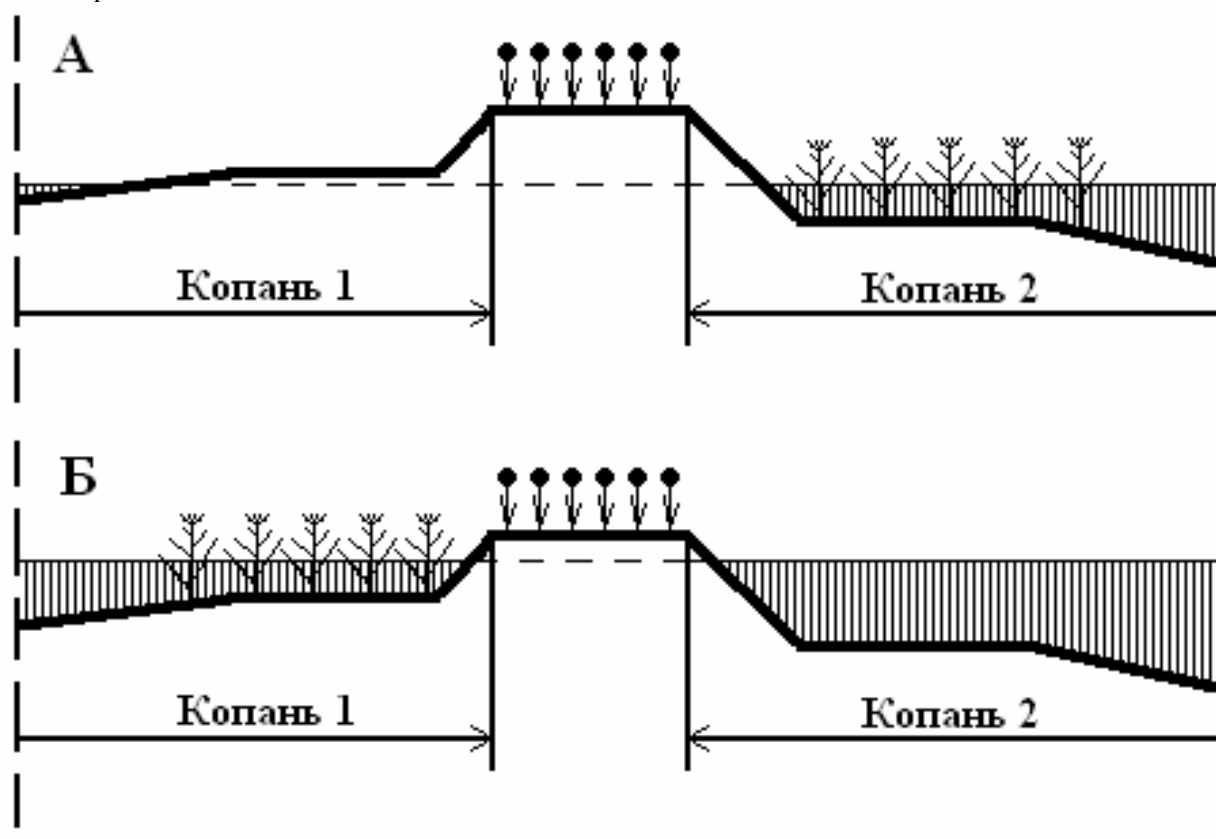


Рис. 1. Прорастание однолетника в два смежных года (А и Б) на рядом расположенных копанях в зависимости от уровня воды.

Выявленная высокая динамичность флористического состава копаней вызывает вопросы к методике исследования. Рассмотрим в качестве примера четыре произвольно взятые копани в Некоузском р-не, для которых имеются описания за два смежных года: две в садоводческом товариществе № 1 (столбики и строчки № 1 и 2 таблицы) и две – в д. Кашеварка (столбики и строчки № 3 и 4).

а. Списки флор за 2004 год

№	1	2	3	4
1	<b>37</b>	34%	33%	32%
2	21	<b>45</b>	28%	29%
3	15	15	<b>24</b>	61%
4	14	15	17	<b>21</b>

б. Списки флор за 2005 год

№	1	2	3	4
1	<b>31</b>	30%	19%	30%
2	12	<b>21</b>	12%	14%
3	6	3	<b>7</b>	46%
4	10	4	6	<b>12</b>

в. Списки флор за 2004–2005 года

№	1	2	3	4
1	<b>46</b>	44%	32%	30%
2	31	<b>56</b>	31%	27%
3	17	19	<b>24</b>	62%
4	16	17	18	<b>23</b>

г. Смешанная таблица

	За 2005 г.	Общий список	Общий список	Общий список
№	1	2	3	4
1	<b>31</b>	30%	34%	32%
2	20	<b>56</b>	31%	27%
3	14	19	<b>24</b>	62%
4	13	17	18	<b>23</b>

Обозначения: столбики и строчки под номерами 1 и 2 – копани СТ № 1; 3 и 4 – копани д. Кашеварка. В каждой подтаблице: диагонали, выделенные полужирным шрифтом – общее количество видов для соответствующих списков, в правой верхней части – коэффициенты сходства по Жаккару, в левой нижней части – количество общих видов для сравниваемых пар копаней.

Сравнивая списки флор за 2004 г. (подтаблица а), можно отметить, что наибольшая степень сходства наблюдается у списков флор копаней д. Кашеварка между собой (61%), остальные значения коэффициента сходства Жаккара находятся в пределах 28–34%. Из списков флор за 2005 г. (подтаблица б) видно, что наибольшее сходство наблюдается опять у копаней д. Кашеварка между собой (46%), однако это значение уже на четверть меньше, чем оно было в 2004 г. Уменьшилось значение коэффициентов сходства и у остальных пар копаней, однако в разной степени – у одних более чем в 2 раза, у других лишь на 6%. На втором месте по степени сходства оказываются пары копаней 1 и 2, а также 1 и 4 (по 30%).

Сравнив кумулятивные списки копаней (подтаблица в), отметим, что картина вновь изменилась. Хорошо заметно, что тенденции, которые намечались в подтаблицах (а) и (б), здесь выступили более отчетливо: наибольшее сходство наблюдается у пары копаней д. Кашеварка между собой (62%) и у пары копаней СТ № 1 также между собой (44%). Таким образом, дополняя на второй год списки флоры новыми видами, мы стабилизировали их в условиях высокой динамичности флоры копаней.

Стоит также отметить, что коэффициент сходства между схожими флорами копаней, взятый за один год, может быть меньше коэффициента сходства менее схожих флор копаней за другой год. Так, коэффициент сходства флор схожих копаней 1 и 2 в 2005 г. (30%) оказался меньше коэффициента сходства флор несхожих по возрасту и режиму эксплуатации копаней 1 и 3 в 2004 г. (33%).

Далее рассмотрим вариант, при котором для первой копани был составлен список флоры только в 2005 г., а для каждой из остальных трёх копаней список составлялся в течение двух лет. В данном случае можно сказать, что флора первой копани (копань СТ № 1) оказалась несколько бли-

же к флорам копаней д. Кашеварка (32% и 33%), чем к флоре рядом расположенной копани того же садоводческого товарищества (30%), что не соответствует действительности.

### **Выводы**

1. Копани являются чрезвычайно динамичными во флористическом отношении объектами, чутко реагирующими на изменение условий окружающей среды; в отдельных случаях коэффициент сходства их флористических списков, составленных в два смежных года для одной копани, может составлять менее 15%.

2. Дополнение флористических списков при каждом последующем ежегодном обходе приводит к значительному увеличению полного списка флоры водоёма, но при этом стабилизирует его.

3. Для корректного сравнения флор таких динамичных во флористическом отношении объектов, как копани, необходимо пополнение флористических списков в течение ряда лет. Но совершенно недопустимо сравнивать:

флористические списки отдельных водоёмов только за один вегетационный сезон;

флористические списки разной степени полноты, т.е. когда одни водоёмы исследовались в течение ряда лет, другие – только единожды;

флористические списки, составленные в разные годы.

### **Литература**

- Авакян А. Б., Салтанкин В. П., Шарапов В. А., 1987. Водохранилища // Природа мира. М.: Мысль. 325 с.
- Вендров С. Л., Авакян А. Б., Дьяконов К. Н., Ретеюм А. Ю., 1968. Роль водохранилищ в изменении природных условий. М.: Знание. 46 с.
- Емельянов В. В., 2001. Древний Шумер. Очерки культуры. СПб: Петербургское востоковедение. 368 с.
- Исаев А. И., Дорохов С. М., 1946. Рыбоводство в колхозах. М.: ОГИЗ-СЕЛЬХОЗГИЗ. 179 с.
- Филь С. А., 1971. Гидрологическая изученность малых водоёмов СССР и принципы их классификации // Вопросы прудового рыбоводства: Мат. Всесоюз. конф. молодых учёных по прудовому рыбоводству: Тр. Всесоюз. научно-исслед. ин-та прудового рыбного хозяйства. Т. XVIII. С. 218–221.

## **VARIABILITY OF THE LIST OF MACROPHYTES OF DIGGED PONDS**

**E.V. Garin**

Institute of biology of inland waters, Borok, Yaroslavl reg., Russia  
e-mail: garin@ibiw.yaroslavl.ru

For composition of flora list cumulative approach is used traditionally in hydrobotanical investigations. In this method the list of species of macrophytes for any object (digged pond, railway bed) is compounded during a number of years in order to reveal the composition of flora more completely. However the analysis of flora lists of a digged pond compounded in adjacent years discovered high degree of variability of them. The gain of this study was to show how intensively changing the composition of flora from one year to another, by the example of some reservoirs of north-east of Yaroslavl region of Russia.

## **БИОТЕХНИКА ВОСПРОИЗВОДСТВА И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОХРАНЕНИЮ ПОПУЛЯЦИЙ ЦЕННЫХ ВИДОВ ПРОМЫСЛОВЫХ РЫБ**

**П.Е. Гарлов<sup>1</sup>, Д.К. Дири<sup>2</sup>, В.П. Шведов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Федеральное Государственное Научное Учреждение «Государственный научно-исследовательский институт озёрного и речного рыбного хозяйства»,

<sup>2</sup>Учреждение Российской академии наук Зоологический институт РАН,  
г. Санкт-Петербург, Россия  
e-mail: garlov@mail.ru

Поддержание численности природных популяций рыб возможно путем сохранения их биологически разнокачественной структуры, как важнейшего элемента триады признаков состояния био-



логического прогресса вида. Нами впервые предложен метод воспроизводства структуры популяции промысловых рыб путем синхронизации сроков получения гетерогенного потомства в едином сезонном рыбоводном цикле.

Анализ ведущих механизмов нейроэндокринной регуляции нереста позволил установить биотехнологические принципы и разработать систему управления размножением промысловых рыб с любым типом и сезоном нереста, включающую способы стимуляции и торможения полового созревания производителей сочетанием комплексов экологических и гормональных воздействий. Эта система защищенная 5 авт. свид. СССР, усовершенствование которой продолжается, предназначена также и для расширения производственных возможностей заводского воспроизводства до внесезонного круглогодичного цикла. Эколого-физиологический принцип управления заключается в разнонаправленном воздействии физиологически адекватным комплексом (триадой) экологических факторов в сочетании с гормонотерапией.

Так, для стимуляции полового созревания производителей промысловых рыб при заводском получении потомства впервые был предложен принцип воздействия гипоталамическими нейрогормональными факторами, разработан, усовершенствован и внедрен в осетроводство натуральный препарат изолированной передней доли гипофиза. В результате применения этого препарата получен устойчивый положительный эффект повышения степени рыбоводного использования и дружности созревания самок в среднем на 15%. Разработан также способ стимуляции созревания самцов рыб экстрактом изолированной задней доли гипофиза, удаляемой при приготовлении его передней доли, что позволяет повысить степень рыбоводного использования самок без производственных отходов и снизить расход гипофизов.

Для сохранения рыбоводного качества и повышения степени рыбоводного использования производителей осетровых и костистых рыб разработан метод их длительной промышленной резервации в среде критической солёности 4–8‰, включая растворы поваренной соли. Содержание производителей в этой среде оказывает комплексный физиологический эффект – задержку полового созревания и наступления резорбции на фоне длительного сохранения благоприятного физиологического состояния организма, выживаемости производителей. Разработанный метод резервации производителей может быть использован не только для расширения сроков, уплотнения графика и в целом повышения эффективности рыбоводных работ, но и для рыбоводного освоения новых видов рыб, поскольку уже известны эффекты повышения темпов роста и выживаемости молоди в этой среде. Возможность использования растворов дешевой поваренной соли широко применима на всех этапах биотехники и позволяет внедрить новые методы резервации и управления созреванием производителей, повышения выживаемости икры, личинок и молоди, усиления темпов роста последней и многие другие.

Для заводского воспроизводства природных популяций промысловых рыб разработан способ управления сроками размножения проходных видов с разной сезонностью нереста, осуществляемый разнонаправленным воздействием физиологически адекватного комплекса экологических факторов. Экологический принцип управления заключается в резервации производителей рыб в универсальной для разных видов «критической» солёности при видоспецифических преднерестовых пороговых значениях «сигнальных» факторов (температуры и освещенности) и в последующей стимуляции их созревания путем плавного перевода в комплекс нерестовых экологических условий. Например, резервацию весенненерестующих видов (объектов заводского воспроизводства) осуществляют при температуре на 1–2° ниже нижнего нерестового порога (для данного вида и расы) и затемнении, а резервацию осенненерестующих – на 1–2° выше верхнего нерестового порога и при адекватном фотопериоде. Эколого-физиологической основой способа является использование важнейших филогенетических адаптаций, связанных с сезонной сменой среды обитания проходных мигрантов в процессе их нерестовых миграций, в частности естественная способность рыб к вынужденной задержке полового созревания при отсутствии сигнальной смены сезонных видоспецифических факторов. Указанные в этом способе и его дальнейших модификациях экологические факторы, будучи равнозначны по своей гидрологической природе и по реакции организма на их воздействия, являются единым адекватным комплексом – триадой. Она определяет как сезонные физиологические циклы организма, так и оптимальный осмотический градиент между внешней и внутренней средами, в целом физиологическое равновесие организма со средой.

Для внедрения предложенной биотехники воспроизводства популяций рыб в естественных водоемах и с целью круглогодичного заводского рыборазведения разработана и в дальнейшем усовершенствована система водоснабжения рыбоводных хозяйств на природно-промышленных принципах инженерной экологии. Как наиболее надежное и экономичное решение, принципиально новое для рыбоводства, предлагается система оборотного водоснабжения рыбоводных хозяйств, позволяющая круглогодично кондиционировать большие запасы воды любого температурного режима и состава, дополнительно к имеющейся речной. Ее сущность состоит в том, что водоснабжение рыбоводных хозяйств дополнительно обеспечивается системой подземных (и/или полуглубинных) резервуаров-отстойников большого объема, позволяющих в изолированных от климата условиях согласовать решения ранее альтернативных проблем теплоэнергос затрат и очистки воды. Основной принцип работы системы водоснабжения заключается в круглогодичном оборотном водоснабжении рыбоводных заводов комбинированного типа, например осетрово-белорыбьего, «холодной» водой (3–7<sup>0</sup>С, для разведения осенненерестующих и резервации весенненерестующих), и «теплой» (9–15<sup>0</sup>С, для разведения весенненерестующих рыб и резервации осенненерестующих) в соответствующие сезоны года по 2-м системам замкнутой циркуляции воды. Возможность такого внесезонного рыборазведения основана на установленных нами эффектах гидрокондиционирования, совпадении диапазонов температур разведения весенненерестующих рыб с температурами резервации осенненерестующих видов (и наоборот), а также сходством температур почв и грунтовых вод с сезонными нерестовыми для разводимых рыб местного климатического пояса. Рассмотрены и возможные варианты управления составом воды и длительной межсезонной термостабилизации ее системой заглубленных теплообменников, включая возможности использования подземных водных источников. Предварительными технико-экономическими расчетами показано, что с увеличением объема резервуаров пропорционально возрастает продуктивность этой системы, в которой впервые согласованы принципы энергосбережения и очистки воды, при этом ее удельная себестоимость пропорционально снижается.

Искусственное заводское воспроизводство популяций лососевых рыб на северо-западе, наряду с общей целью, существенно отличается от такового в южных и восточных регионах и принципиально – от осетроводства. Например, подавляющее большинство лососевых рыбоводных заводов располагается на акватории низовых нерестилищ, непосредственно откуда и изымает зрелых производителей. После длительной (сезонной) инкубации икры и выращивания молоди вплоть до двухгодичного возраста ее выпускают непосредственно на заводскую акваторию водоема. Для анализа (весьма разноплановых) причин этих различий (лососеводства с более молодым осетроводством) наиболее конструктивен метод сопоставительного анализа, позволяющий логически последовательно выявлять приспособительные принципы и закономерности биологических (и социальных) явлений и далее разрабатывать конкретные биотехнологические решения – методы биотехники до охраноспособного уровня. Наиболее значимой и объективной (климатически зависимой) причиной такой специфики лососеводства на северо-западе является особенно короткий нерестовый и вегетационный сезоны при речном водоснабжении рыбоводных заводов.

Необходимы, наконец, разработка биотехники и организация экологически-обоснованного выпуска выращенной молоди лососевых рыб в водоемы самими лососевыми рыбоводными заводами, установление их ответственности за этот конечный (и важнейший для промвозврата) этап заводского воспроизводства лососевых, как это давно принято на осетровых рыбоводных заводах. Предлагается новая рыбохозяйственная концепция о необходимости введения правового статуса «природно-промышленных рыбоводных комплексов» для рыбоводных заводов и предлагается план мероприятий по разработке научно-методических обоснований их создания и использования. Такие природно-промышленные рыбоводные комплексы как важнейшие индустриальные составляющие должны входить в систему рационального рыбохозяйственного природопользования. Вся биотехника воспроизводства рыбных запасов (важнейших, трудно возобновляемых биологических ресурсов) природно-промышленными рыбоводными комплексами должна быть основана на индустриальных принципах инженерной экологии. Цель воспроизводства – сохранение, поддержание и увеличение продуктивности популяций ценных видов рыб может быть достигнута только прямой заинтересованностью и ответственностью рыбоводных заводов (тем более в статусе «природно-промышленных рыбоводных комплексов») в ее достижении, т.е. в конечном промысловом возврате. С другой стороны, в систему рыбохозяйственного природопользования необходимо включить механизм об-

ратной связи в виде разработки нормативной документации (по результатам анализа мониторинга) и паспортизации популяций ценных видов промысловых рыб. Паспортизация (в отличие от известной идентификационной – генетической) должна включать в себя характеристики прежде всего продуктивности, численности, полового и возрастного составов популяции, показателей состояния видового биологического прогресса, т.е. обязательный для соблюдения в графике и биотехнике заводского воспроизводства нормативный комплекс.

Наконец, важной задачей сохранения биоразнообразия природных ресурсов нашего региона является спасение Ладожской популяции Атлантического осетра. Для ее решения необходимо создание осетроводного хозяйства в бассейне Ладожского озера, водоеме оптимальном для сохранения маточного стада осетровых рыб на Северо-Западе. По нашему представлению эта задача может быть успешно решена только путем взаимодействия природоохранных и рыбохозяйственных мероприятий, что гарантирует, в частности, надежное получение посадочного материала. Например по международной программе Германия и Польша успешно восстанавливают популяцию балтийского осетра. Однако из-за отсутствия осетроводной базы акклиматизационные мероприятия, начатые у нас еще в 1955 г. были завершены в 1982 г. только на уровне успешной отработки биотехники. Поэтому мы и предлагаем вышеописанную универсальную биотехнологию для создания осетроводной базы, специализированной для Северо-Западного региона.

В связи с современным состоянием экологических и социально-экономических условий на Северо-Западе и Севере России рекомендуем следующий ряд организационных рыбохозяйственных мероприятий.

1. Необходимо создание единой базы данных по международному кодексу природоохранного законодательства, включая и «правовое поле» РФ, а также основные сведения и рекомендации по экологической безопасности регионов.
2. Целесообразно сформировать группу экспертов при областной и экологической прокуратурах из специалистов отраслевого природоохранного, рыбохозяйственного и академического профиля, например ЗИН РАН, БИН РАН, ГГИ, СПбГУ, ГосНИОРХ и др.
3. Разработать положение об издании рыбохозяйственного, ихтиологического и природоохранного журнала для Северо-Западного и Северных регионов РФ и учредить это издание. До этого рекомендовать ввести раздел «Ихтиология и рыбное хозяйство» в один из рыболовно-спортивных журналов. Кроме того, публиковать данные о природоохранных исследованиях, рекомендациях и итогах их внедрения в региональных изданиях (сборниках, включая «ДСП»).
4. О всех изменениях, включая проекты реорганизации режимов на территориях и акваториях особо охраняемых прибрежных территорий (ООПТ) заблаговременно информировать их учредителей и разработчиков.
7. Сформировать объединенный специализированный Ученый Совет (ЗИН, БИН, ГГИ, ГосНИОРХ, природоохранные факультеты, кафедры и др.) для рассмотрения программ и основных рекомендаций по экологической проблеме. Из представителей Объединенного Совета создать постоянную группу для оперативного осуществления актуальных рекомендаций.
8. Создать временную рабочую группу по редактированию «Правил рыболовства» в соответствии с современными данными по сохранению воспроизводства и биоценотическим связям особо охраняемых и основных промысловых рыб и других гидробионтов. Редактирование проводить с учетом их ресурсного социально-экономического потенциала и комплексных требований по охране водосборных бассейнов, особенно в отношении объектов Красной книги и основных объектов рыболовства и других водных биоресурсов.
9. Для усиления обмена информацией по меченым в Финляндии озерным кумжей и лососем целесообразно развивать совместные исследования и охрану бассейнов трансграничных рек, что и рекомендовано Союзом ученых Санкт-Петербурга. Например, по данным Института дичи и рыболовства (Хельсинки), на оз. Сайма метят 10% выпускаемых рыб. У нас на р. Вуоксе-Тайполе (Бурная) за 20 мес. 1990/1991–1994/1995 и в 2009гг. с 30.10 по 10.02 учтена поимка 11 меченых рыб и 1 метка – с соседнего района Ладоги. Общая доля заводских кумжи и лосося на контрольном участке реки составляет около 110 экз. В сумме эти виды могут достигать 15–19% от уловов (7 респондентов) или больше из-за потерь подвесных меток (4 плотины без рыбоходов). Характерно, что в период «гидрологической зимы» 1952–1959, 1962гг. доля мелкой «белянки» (0,4–1,04кг) – 38%, что в сравнении с 53% в выборке 1991–1995гг. дает разницу в 15%. Это также свидетельствует о положительной роли финского рыбоводства. Отметим, что при доминировании русловых озер (77% длины Вуоксы) и длительной миграции молоди – 210–595 сут. (от гор. Varkaus и др.) пресс щуки может быть

сильнее и численность ее необходимо снижать. 10. В связи с изложенным, можно рекомендовать управлению «Севзапрыбвод» восстановить Ленинградскую областную инспекцию рыбоохраны.

## **REPRODUCTIVE BIOENGINEERING AND RECOMMENDATIONS ON RESTORATION OF COMMERCIAL FISH POPULATIONS**

**P.E. Garlov<sup>1</sup>, D.K. Dirin<sup>2</sup>, V.P. Swedov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>State Scientific Research Institute of lake and river fish facilities «GOSNIORKH»,

<sup>2</sup>Zoological institute of Russian Academy of Science, Saint-Petersburg, Russia

e-mail: garlov@mail.ru

The purpose is a conservation of fish natural populations quantity. New methods of duplication management commercial fish by complex ecological factor and hormonotherapy is offered. These methods of stimulation and delays of sexual maturations, reservations of breeders of any season of the spawning are also presented in the manner of schemes.. System of all-year-round water-supply of fish-farm facilities is designed for application of this new biotechnique. This system is founded on natural-industrial principle engineering ekologii. solve The solution of some fish economical actions important for Northwest region is offered on this basis.

## **ДИНАМИКА ПЕЛАГИЧЕСКИХ СКОПЛЕНИЙ РЫБ И ИЗМЕНЕНИЯ В СОСТАВЕ ПИЩИ ОКУНЕВЫХ НА РАЗНЫХ ЭТАПАХ ФОРМИРОВАНИЯ ИХТИОФАУНЫ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА (1950–2008)**

**Ю.В. Герасимов, М.Н. Иванова, А.С. Стрельников**

Учреждение Российской академии наук Институт биологии внутренних вод

им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Ярославская обл., Россия

e-mail: gu@ibiw.yaroslavl.ru

### **Введение**

Основу пелагического комплекса Рыбинского водохранилища составляют мелкие пелагические виды. До 1996 года доминирующим видом была мелкая форма европейской корюшки (*Osmerus eperlanus*) – сеток, с 2000 года – новый для водохранилища вид, вселившийся из ниже лежащих водохранилищ – каспийская тюлька (*Clupeonella cultriventris*). В значительном количестве встречается молодь окуневых (окунь *Perca fluviatilis*, судак *Stizostedion lucioperca*) и молодь карповых (синец *Abramis ballerus*, лещ *Abramis brama*, чехонь *Pelecus cultratus*, плотва *Rutilus rutilus* и укля *Alburnus alburnus*). Часто, но в небольшом количестве встречаются ряпушка (*Coregonus albula*).

После исчезновения сетка в 1996 – 97 гг. промысловый лов в пелагиали прекратился и в настоящее время численность и распределение рыб пелагического комплекса не связаны напрямую с выловом, поскольку ни один из основных его видов не используется промыслом. Основное воздействие на численность и встречаемость пелагических видов оказывает численности вида – доминанта – каспийской тюльки и влияния массовых хищников и, в первую очередь, судака.

Целью работы стал анализ динамики численности мелких пелагических рыб и молоди основных видов и их роли в питании судака Рыбинского водохранилища за весь период его существования.

### **Материал и методика**

Работа выполнена на многолетних материалах лаборатории экологии рыб ИБВВ РАН, включающих в себя данные тралений мальковым тралом за период с 1941 по 2008 гг. на 25 – 55 стандартных траловых станциях по всей акватории Рыбинского водохранилища. В качестве показателя характеризующего численность мелких пелагических рыб и молоди использовалась динамика показателя улова на усилие исследовательского трала (улов за 10 минут траления). Пробы на питание отбирались у судаков пойманных разноглубинными и донными тралами за этот же период и на тех же траловых станциях.

## Результаты и обсуждение

На первом этапе формирования Рыбинского водохранилища (1941–1947 гг.) пища судака состояла из наиболее многочисленных видов рыб, обитавших в реках на территории будущего водоема. Пищевой ассортимент судака в 1949–1950 гг. включал ерша, плотву и окуня (91% по числу съеденных экземпляров). Ерш в период становления видового состава рыб водохранилища был доминирующим кормовым объектом хищника (73,5% по количеству съеденных экз. (Задульская, 1960). На втором-третьем этапах формирования водохранилища спектр питания судака расширился за счет проникшего из Белого озера снетка. В середине 50-х снеток занимал третье место по численности в пелагических скоплениях рыб уступая только молоди плотвы и окуня. К концу десятилетия он стал массовым видом, доминируя в пелагиали водохранилища. В этот период основу пищи судака составляла молодь окуня (51%), ерша (15%) и снетка (13%) (Романова, 1956). По нашим данным в последующие десятилетия на долю окуня приходилось 27–36% (по количеству съеденных экз.); ерша – 20–27%; снетка – 12–20% и плотвы – 6–11 %. Совместно эти 4 вида кормовых объектов составили до 77–88% от всего количества съеденных хищниками рыб (Иванова, 1966).

В различных районах сублиторали и батии на местах нагула судак съедал количество пищи, равное 0,7–2,1% собственного веса. В годовом рационе хищника в зависимости от степени доступности кормовых объектов наибольший удельный вес имели следующие виды рыб: плотва (19,8–34,3%), ерш (24,6–32,0%), молодь окуня (16,7–19,5%) и снеток (8,4–13,0%).

В 90-ых годах прошлого столетия изменились численность и распределение основных кормовых объектов судака: исчезла из уловов корюшка (снеток). В 70-х годах она была многочисленной в батии водохранилища. Уловы ее достигали > 10 тысяч штук за 10 минут траления мальковым тралом, а уже в 1998 г. ловилась лишь единично (см. таблица) (Герасимов, Новиков, 2001). В этот период в пелагиали по численности доминировала молодь карповых (56,1%) и окуневых (27,7%). С середины 90-х годов 20 века в Рыбинское водохранилище проникла черноморско-каспийская тюлька. Первое упоминание о ее попадании в трал относится к 1993 году. В дальнейшем она стала обычным видом, но ее уловы за 10 минут траления мальковым тралом не превышали 20–40 штук. Подобная картина сохранялась до 2000 года, когда было отмечено вспыха численности тюльки (таблица). В результате этот вид стал доминирующим и составлял до 97% численности рыб в уловах малькового трала. Осенью 2002 г. за 10 мин. траления вылавливали > 5 тыс. экз. тюльки. Все остальные виды в этот период в уловах были представлены единично и имели 10 – 20 % встречаемость (таблица). В это же время резко сократилась популяция ерша: он исчез из уловов на всех биотопах зон литорали, сублиторали и батии (Кияшко, 1982). Сохранились малочисленные популяции этого вида в верховьях рек, откуда уже в начале 2000 г. стала восстанавливаться его численность в плесах.

Таблица

Динамика уловов пелагических рыб (в % от общей численности в улове).

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Тюлька	0,5	12,1	82,9	89,0	97,6	67,7	77,6	33,9	70,3	72,6	59,2
Снеток	12,5	4,7	1,7	0,2	0,1	-	-	0,0	<0,1	<0,1	0,2
Синец	36,8	2,3	1,7	0,4	0,3	2,6	1,1	10,3	4,7	1,0	1,4
Чехонь	1,4	1,8	5,3	0,2	0,1	-	0,3	1,8	0,4	0,1	2,4
Судак	25,0	12,9	1,1	0,4	0,1	3,6	9,2	12,9	1,1	6,3	2,3
Лещ	6,5	40,3	3,2	1,5	0,1	2,6	0,3	9,6	11,2	0,2	0,7
Плотва	2,5	16,5	1,7	0,8	0,1	0,8	0,8	0,6	0,1	4,1	4,4
Уклея	10,3	1,3	1,0	5,0	1,2	2,6	1,3	0,1	0,4	2,9	1,7
Окунь	2,7	7,5	0,6	0,4	0,1	18,3	5,6	29,9	9,5	13,5	25,5
Густера	-	-	-	-	-	1,5	0,1	0,5	2,3	-	-
Ерш	-	-	-	-	-	0,8	0,1	0,4	<0,1	<0,1	-

В результате исчезновения снетка и ерша судак перешел на интенсивное потребление тюльки, которая стала доминирующим видом (до 60,9% по числу экз.) в питания взрослого хищника в 2000–2003 гг. (Степанов, Кияшко, 2008).

В 2003 году численность тюльки в Рыбинском водохранилище стала снижаться. Одной из причин этого стал аномально низкий уровень воды в Рыбинском водохранилище в зимний период 2002–2003 года. В результате были отмечены заморные явления, в результате которых заметно пострадала и популяция тюльки. Ее улов за 10 минут траления уменьшился в четыре раза (с 757 до 185 шт.), встречаемость со 100% до 82%, а доля в улове с 98% до 67,7%. при этом увеличилось количество молоди окуневых и карповых (соответственно, с 0,4 и 1,7% до 21,9 и 10,1%). Корреляция численности рыб в пелагиали с численностью тюльки достаточно высока ( $r = -0,73, p < 0,05$ ). То же и для отдельных групп, например, для карповых ( $r = -0,53, p < 0,05$ ) и окуневых ( $r = -0,59, p < 0,05$ ). При высокой численности тюльки снижается не только их количество в уловах, но и встречаемость (до 10–20%). Это происходило во время пиков численности тюльки в 2000 – 2001 и 2007 гг. (рисунок).

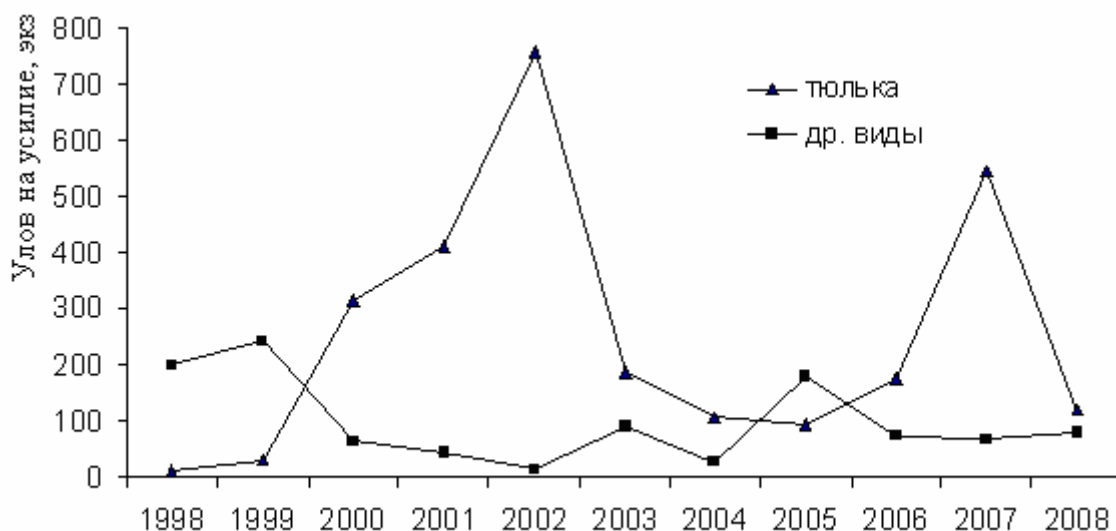


Рис. Динамика общей численности рыб и тюльки в пелагических скоплениях Рыбинского водохранилища.

Снижение численности тюльки в период после 2003 года сказалось на потреблении ее хищниками. По нашим данным, в 2007–2008 гг. значение тюльки в пищевом ассортименте судака уменьшилось до 47,7% (по числу экз.), что в месячном рационе составило лишь 12,6% от всего количества съеденного корма. В составе рациона осенью 2007 и 2008 гг. практически не было доминирующего вида: удельный вес молоди окуня составил 22,8 %, ерша, плотвы и ряпушки – по 17%, тюльки – 12%. Несмотря на широкий спектр питания интенсивность откорма судака осенью 2008 г. была более высокой (месячный рацион равнялся 1.35) по сравнению с характером осеннего откорма хищников в начальные периоды формирования водохранилища.

### Заключение

Исследование показало, что за все время существования Рыбинского водохранилища динамика структуры пелагического комплекса рыб имела три основных периода: от начала формирования до появления снетка, от появления снетка до появления тюльки и период после вселения тюльки. Ни снеток, доминировавший в пелагических скоплениях до 2000 года, ни тюлька, доминирующая в пелагиали водохранилища в настоящее время, не составляли основы питания судака. Только в течение короткого периода (2001–2002 гг.) доля тюльки при максимуме численности достигла 60% от веса с одержимого его желудочно-кишечного тракта. При численности сильно не отличающейся от средней многолетней доля снетка и тюльки не превышала 13%. Наблюдается избирательность в отношении ерша и ряпушки, численность которых в пелагиали относительно низкая.

### Литература

- Герасимов Ю.В., Новиков Д.А., 2001. Ихтиомасса и распределение рыб в Рыбинском водохранилище. Экологические проблемы Верхней Волги: Колл. монограф. – Ярославль: Изд-во ЯГТУ. С.194–202.
- Задульская Е.С., 1960. Питание и пищевые взаимоотношения хищных рыб северной части Рыбинского водохранилища. Тр. Дарвинского гос. заповедника, вып.6. Вологда: Вологодское книжное изд. С.345–405.

Иванова М.Н., 1966. Питание и пищевые взаимоотношения хищных рыб в Рыбинском, Горьковском и Куйбышевском водохранилищах. Автореф. дис. ...канд. биол. наук. М.: МГУ. 17 стр.

Кияшко В.И., 1982. Экология и трофические связи ерша *Acerina ceptua* L. Рыбинского водохранилища. Автореф. дис. ... канд.биол.наук. М.: ИЭМЭЖ АН СССР. 24 с.

Романова Г.П., 1956. Питание судака Рыбинского водохранилища. Тр. биол.ст. «Борок», вып.2. М.-Л.: Изд. АН СССР. С. 307–326.

Степанов М.В., Кияшко В.И., 2008. Роль тюльки (*Clupeonella cultriventris* (Nordman)) в питании хищных рыб Рыбинского водохранилища // Биология внутренних вод: №4. С. 86–89.

## **МНОГОЛЕТНЕЙ СТАБИЛЬНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКРОБЕНТОСА НА УЧАСТКЕ ВЕРХНЕЙ СУБЛИТОРАЛИ В РАЙОНЕ КЕРЕТСКОГО АРХИПЕЛАГА (БЕЛОЕ МОРЕ)**

**А.В. Герасимова, Е.К. Кузнецова**

Санкт-Петербургский Государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

e-mail: agerasimova64@mail.ru

С 1984 года сотрудники кафедры ихтиологии и гидробиологии СПбГУ ведут наблюдения за бентосным сообществом на участке верхней сублиторали у о. Матренин (Керетский архипелаг, Кандалакшский залив). Контрольный участок охватывает бенталь на глубинах 4 – 15 м и занимает площадь около полутора га. На большей части анализируемого полигона развито сообщество двустворчатых моллюсков *Arctica islandica*, причем с необычайно высокими для Белого моря показателями обилия доминирующего вида: численность более 100 экз./м<sup>2</sup> и биомасса до 700 г/м<sup>2</sup>. Похожее по показателям обилия поселение было описано только в Онежском заливе (Бабков, Голиков, 1984). Следует отметить, что распределение как доминирующего вида, так и других донных животных в пределах участка на протяжении всех лет наблюдений было устойчиво неравномерным. Наиболее подробно изучены структурные характеристики поселения *A. islandica* (Герасимова и др., 2008). Эти моллюски не обнаружены на глубинах менее 5–6 м. Кроме того, отмечено достаточно резкое увеличение показателей обилия арктик на глубинах более 10 м, причем поселение моллюсков на данных глубинах представлено практически исключительно крупными особями – 30–40 мм. На глубинах до 10 м наблюдались все возрастные группы *A. islandica*, начиная с сеголеток (особей, не достигших возраста 1 года к моменту наблюдения), а моллюски размерами больше 30 мм отмечены лишь единично. Все вышесказанное определило цель данной работы – выявление закономерностей в распределении организмов макрозообентоса в данном местообитании.

В основу работы положены материалы, собранные в июле 1984–1985, 2002, 2006 и 2007 годов. Сбор проб во все годы наблюдений проводился методом водолазных трансект – 2002–2007 гг. вдоль двухсотметрового троса, размеченного через каждые 20 м (11 станций). В 1984–1985 гг. на участке были произведены равные съемки – 25 станций, из которых были выбраны 11, приблизительно соответствующих местам сборов 2002–2007 гг. На каждой станции макробентос собирали с помощью зубчатого водолазного дночерпателя (с площадью захвата 1/20 м<sup>2</sup>) или дночерпателя Петерсена (площадь захвата 1/40 м<sup>2</sup>) – по 3 пробы на станцию. Для большинства представителей макробентоса проведена идентификация до вида и посчитаны величины обилия. В 1984–1985 годах группа многощетинковых червей не была идентифицирована до вида. В июле 2006 и 2007 года дополнительно на каждой станции взяты пробы грунта. Сравнение станций по показателям обилия организмов макрозообентоса и оценка сопряженности в распределении отдельных видов проведены с применением кластерного анализа. В качестве меры расстояния между описаниями использовано расстояние Евклида.

Следует отметить, что для описываемого участка бентали характерно практически полное отсутствие макрофитов, поэтому далее речь пойдет только о представителях макрозообентоса.

Структурные характеристики сообщества макрозообентоса участка оказались близки аналогичным параметрам сообществ песчано-каменистых с примесью ила грунтов верхних горизонтов (до гл. 15 м) беломорской сублиторали. Всего обнаружено 88 таксонов беспозвоночных, 16 из которых отмечены во все года исследований. Число видов в отдельное наблюдение колебалось от 27

(1984) до 59 (2006) таксонов (Таблица). Меньшее количество обнаруженных видов в 1984–1985 гг. очевидно объясняется тем, что некоторые таксономические группы, прежде всего многощетинковые черви (за исключением *Alitta virens*) не были идентифицированы до вида. По численности преобладали многощетинковые черви (в среднем около 60% суммарной численности макробентоса), по биомассе – двустворчатые моллюски (около 90% суммарной биомассы), причем на долю доминирующего вида *A. islandica* приходилось 54–85% суммарной биомассы макробентоса (см. Таблица). Существенных межгодовых смещений в соотношении показателей обилия массовых представителей макробентоса на участке не отмечено. Однако суммарная биомасса бентоса на участке снизилась почти в три раза в 2006–2007 гг. по сравнению с данными 1984–1985 гг., что в основном обусловлено падением почти в пять раз биомассы доминирующего вида (с 894 г/м<sup>2</sup> до 162 г/м<sup>2</sup>) (табл.).

#### Некоторые характеристики макрозообентоса в разные годы наблюдений

Характеристики	1984	1985	2002	2006	2007
Количество таксонов	27	33	51	59	39
Суммарная численность макрозообентоса	-	1194	523	608	936
Суммарная биомасса макрозообентоса	1085	1010	511	300	256
N ( <i>Arctica islandica</i> L.)	-	114	32	18	38
B ( <i>Arctica islandica</i> L.)	894	859	306	162	178

Примечание: N – численность, экз./м<sup>2</sup>; B – биомасса, г/м<sup>2</sup>.

В результате сравнения станций по показателям обилия таксонов в каждый момент наблюдения было выделено две-три группы, основные различия между которыми связаны с особенностями распределения в пределах участка преобладающих по численности и биомассе на станциях форм: *A. islandica*, *Alitta virens*, *Myriochele oculata*, *Serripes groenlandicus*, *Tridonta borealis* и т.д.. Выявленные различия в преобладающих по биомассе видах в полученных объединениях позволяют говорить о наличии в пределах участка по крайней мере двух сообществ: глубины более 6–7 м во все годы наблюдений оккупированы сообществом *Arctica islandica*, в мелководной зоне участка доминировали разные виды: в 1984–1985 *Tridonta borealis*-*Alitta virens*, в 2002 году *Styela rustica*-*Alitta virens*, в 2006–2007 *Serripes groenlandicus*-*Alitta virens*.

По-видимому, отмеченные проявления неравномерности в распределении организмов макрозообентоса являются облигатной чертой изученного участка бентали, что предполагает обусловленность абиотическими и (или) биотическими факторами. При изучении сходства в распределении в пределах участка отдельных видов макрозообентоса (при этом были использованы только виды, встречаемость которых на участке не менее 30 %) в каждый момент наблюдения нам удалось выделить весьма близкие по составу группы ассоциированных таксонов, к тому же имеющие сходное количественное распределение по глубинам: 1 – формы, приуроченные в основном к мелководной зоне участка (глубины менее 6–7 м) – *Alitta virens*, *Serripes groenlandicus* и *Tridonta borealis*; 2 – формы, достигающие максимального обилия на глубинах свыше 10 м (глубоководная зона) – наиболее часто в эту группу попадали *Macoma calcaria*, *Myriochele oculata*, *Arctica islandica* и *Ophiura robusta*; 3 – обитатели центральной части полигона с максимумом обилия на глубинах 8–10 м – *Hiatella arctica*, *Mya arenaria*, *Crenella decussata* и *Ciliatocardium ciliatum*.

По данным 2006 года с глубиной на участке менялись физико-химические характеристики донных отложений: гранулометрический состав и содержание органических веществ в осадках. В частности, показаны прямая регрессионная зависимость содержания органических веществ в грунте от глубины и обратная – от температуры донных отложений. Поэтому мы попытались использовать свойства грунта при выяснении причин такого распределения отдельных видов. Оказалось, что гранулометрический состав грунта являлся статистически значимым фактором для распределения численности и биомассы видов, приуроченных либо к мелководной, либо к глубоководной зоне участка, обуславливая 68–97% общего варьирования величин обилия. Кроме того, обнаружена сильная корреляция показателей обилия отдельных видов с содержанием органических веществ в грунте (коэффициенты корреляций 0,7–0,9).

С позиций сезонных изменений гидрологических характеристик на разных глубинах нам пока не удалось объяснить наличие в пределах участка хотя бы двух групп ассоциированных таксонов (условно мелководной и глубоководной), распределение показателей обилия которых в пределах



участка устойчиво различалось. Однако в наше распоряжение были предоставлены результаты многолетних наблюдений сотрудниками Зоологического института РАН за температурой и соленостью воды на глубинах от 5 до 15 м (Berger et al., 2003). Оказалось, что летний прогрев и зимнее выхолаживание примерно одинаково во всем диапазоне глубин участка. Однако соленостные условия наиболее стабильны на глубинах около 15 м – не отмечена соленость ниже 23 ‰. На глубинах менее 10 м соленость может снижаться до 11 ‰. Возможно, именно толерантностью по отношению к солености можно объяснить особенности распределения некоторых представителей макробентоса, но на сегодняшний день в отношении большинства обитателей изучаемого биотопа мы не располагаем данными относительно нижних границ соленостных толерантных диапазонов. В июле-августе 2008 года на Морской Биологической станции СПбГУ были проведены экспериментальные работы по изучению соленостной устойчивости *Arctica islandica* (Герасимова и др., 2009). Полученные характеристики нижней границы соленостной устойчивости неакклиматизированных *A. islandica* (11–13 ‰) позволяют объяснить распространение представителей данного вида на всем диапазоне глубин участка (5–15 м). Кроме того, было показано, что при солености около 6 ‰ активность моллюсков снижена – они не способны закапываться. При значениях солености около 12 ‰ значительно ниже была активность *A. islandica* размером более 30 мм по сравнению с более мелкими особями. При солености более 18 ‰ активность животных практически не зависела от размеров моллюсков, и наблюдалась почти 100% степень закапывания. Возможно, с этим связана концентрация крупных моллюсков на участке на глубинах более 10 м, где соленость воды не опускается ниже 20 ‰. Молодые же особи в своем распределении, по-видимому, соленостью воды менее лимитированы.

На данном этапе исследований нам не удалось найти доказательства влияния на распределение макрозообентоса биотических отношений, хотя для некоторых таксонов показана корреляционная связь показателей обилия в пределах участка. Например, в оба года наблюдения значимая положительная корреляция численности и биомассы отмечена для *Macoma calcaria* – *Myriochele oculata* (коэффициенты корреляций 0,95–0,97). Однако остается неясным, результат ли это взаимодействия видов, или же сходного отношения к окружающей среде. Исследования в этом направлении, возможно, станут предметом наших будущих изысканий.

### Литература

- Бабков А.И., Голиков А.Н., 1984. Гидробиокомплексы Белого моря. Л.: Изд. Зоол. ин-та РАН. 104 с.
- Герасимова А.В., Кузнецова Е.К., Максимович Н.В., 2008. О многолетней динамике структуры поселения *Arctica islandica* L. (Mollusca, Bivalvia) и особенностях пространственного распределения макробентоса в районе Керетского архипелага (Белое море)//Материалы XI научной конференции Беломорской биологической станции МГУ: Сборник статей М.: Изд. «Гриф и К». С. 34–37
- Герасимова А.В., Филиппова Н.А., Кузнецова Е.К., 2009. О соленостной устойчивости *Arctica islandica* L. (Mollusca, Bivalvia) в Белом море// X Научная Сессия Морской Биологической Станции Санкт-Петербургского Государственного Университета. СПб, 9 февраля 2009 г. Тезисы докладов. С. 15–17.
- Berger V.Ja., Naumov A.D., Usov N.V., Zubaha M.A., Smolyar I., Tatusko R., Levitus S., 2003. 36-Years Time-Series (1963–1998) of Zooplankton, Temperature and Salinity in the White Sea. St.Petersburg-Silver Spring. 362 pp.

### ABOUT LONG-TERM STABILITY OF MACROZOOBENTHOS SPATIAL DISTRIBUTION IN THE UPPER SUBLITIDAL ZONE IN THE VICINITY OF KERET ARCHIPELAGO (THE WHITE SEA)

A.V. Gerasimova, E.K. Kuznetsova

Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia  
e-mail: agerasimova64@mail.ru

Since 1984 the specialists of Ichthyology and Hydrobiology department of SPSU have been studying benthic assemblages at the silty-sand upper subtidal plot near the Matrenin Island (Keret Archipelago, Kandalaksha Bay, White Sea). The seabed here had almost no macrophytes and had some amount of stones. The data are discussed which were collected in 1984–1985, 2002, 2006 and 2007 using scuba transect technique. One of the characteristic traits of the investigated plot was persistent irregularity in benthic invertebrate spatial distribution. Inside the plot at least two macrozoobenthos assemblages was observed. The sediments at 6–7 m depth were occupied by *Arctica islandica* biocenosis throughout the

period of observation. At the shallower place various species prevailed, among which were *Tridonta borealis*-*Alitta virens* in 1984–1985, *Styela rustica*-*Alitta virens* in 2002, *Serripes groenlandicus*-*Alitta virens* in 2006–2007.

We have revealed three groups of closely associated taxa, which had relatively similar vertical distribution: (1) shallow zone species (6–7 m depth) – *Alitta virens*, *Serripes groenlandicus* and *Tridonta borealis*; (2) species, which were abundant at depth of more than 10 m (deep water zone) – *Macoma calcarea*, *Myriochele oculata*, *Arctica islandica* and *Ophiura robusta*; 3 – species occupying central part of the plot under discussion with maximal abundance at the depth of 8–10 m – *Hiatella arctica*, *Mya arenaria*, *Crenella decussata* and *Ciliatocardium ciliatum*. Granulometrical composition impact has appeared to be statistically significant for both shallow-water and deep-water species distribution. It was responsible for 68–97% of these species abundance variation. At the present state of investigation no any impact of biotic relations was found though some correlation was shown to take place among separate taxa abundance inside the investigated plot.

## ТЕМПЕРАТУРНЫЕ КРИТЕРИИ ДЛЯ ПРЕСНОВОДНЫХ РЫБ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ

В.К. Голованов

Учреждение Российской академии наук Институт биологии внутренних вод  
им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Ярославская обл., Россия  
e-mail: golovan@ibiw.yaroslavl.ru

При постановке вопроса о рациональном использовании биологических ресурсов пресноводных и морских водоемов неизменно приходится сталкиваться с тем, какие факторы внешней среды способствуют, а какие препятствуют их сохранению и приумножению. Как антропогенные, которым уделяется в последнее время огромное внимание, так и естественные факторы в ряде случаев могут играть и положительную, и отрицательную роль. Один из наиважнейших естественных факторов – температура окружающей среды. «Температурное пространство», или определенный объем водных масс с физиологически оптимальными для гидробионтов температурами в условиях конкретного водоема или отдельного биотопа не остается неизменным в процессе жизненного цикла животных, у рыб разных возрастов, а также в различные сезоны года (Вирбицкас, 1988; Голованов и др., 1997, 2005; Magnuson, 1979).

Весь возможный температурный диапазон жизнедеятельности для рыб, обитающих в северо-западных водоемах России – от 0°C и возможно минусовых значений температуры воды в морях до 43–44°C – достаточно широк. Однако представители разных семейств используют, как правило, не весь диапазон, а только определенные его части. Аналогично тому, как популяции одного и того же вида обитают на юге, севере или (оптимально) в центре своего ареала, так и особи в водоеме могут существовать или вблизи нижних границ жизнедеятельности, или вблизи возможных верхних сублетальных областей температур. Наконец, возможно успешное обитание в той подобласти температур, которая наиболее оптимальна для нереста, а также последующего развития, питания, роста и воспроизводства.

Цель настоящей работы – формулировка определенных температурных «правил», согласно которым, возможно, происходит успешное функционирование как отдельной особи, так и вида в целом в динамичных температурных условиях внешней среды. В принципе, для каждого вида может быть определен конкретный, наиболее эффективный, температурный «сценарий» прохождения сезонных жизненных циклов. Иначе говоря, существуют четкие температурные критерии, характеризующие определенные периоды развития рыб в разные сезоны года в зависимости от тех условий, которые могут быть предложены популяциям естественной средой (Алабастр, Ллойд, 1984; Голованов, 2007, 2008).

Для анализа использованы отдельные представители видов рыб из пяти водоемов Северо-Запада России, различающихся по географическому положению, размерам, статусу и термическому режиму. Среди них – Рыбинское водохранилище (как одно из водохранилищ Верхней Волги), Белое озеро, Ладожское озеро, Онежское озеро, а также Белое море.

Аборигенная ихтиофауна водоемов всей Европейской части России насчитывает 117 видов (Атлас..., 2002). После целенаправленных интродукций, а также в результате саморасселения она

пополнилась 17 новыми видами, ее состав в настоящее время насчитывает 134 вида (Кудерский, 2005). Вместе с тем, в бассейнах крупных рек и морей северо-запада России общее количество видов сравнительно невелико. Так, например, в бассейне Верхней Волги в конце прошлого века отмечено присутствие 69 видов рыб и рыбообразных, относящихся к 23 семействам, в том числе среди них: карпообразных – 36, окунеобразных – 9 и лососеобразных – 8 видов (Экологические..., 2001). Непосредственно в **Рыбинском водохранилище**, а также в его притоках обитает 38 видов рыб (Терещенко, Стрельников, 1997), преимущественно карповых – 20 видов, окуневых – 4 вида, вьюновых – 3 вида. Обращает на себя внимание тот факт, что присутствуют такие холодолюбивые виды как налим, корюшка (численность которой существенно сократилась), ряпушка, пелядь, а также ряд видов-вселенцев, в том числе каспийская тюлька.

В **Белом озере** количество видов несколько меньше. По материалам Н.В. Болотовой и А.Ф. Коновалова (2002), в озере обитают от 20 до 24 видов, преимущественно карповых – 12 видов и окуневых – 4 вида. Из холодолюбивых видов присутствуют налим, ряпушка и корюшка.

**Ладожское озеро** населяют 43 вида рыб, больше чем в Белом или Онежском (36) озерах. По данным Л.А. Кудерского и А.С. Печникова (2002), среди этих видов 18 – карповых, 3 окуневых и 3 вьюновых. Кроме холодолюбивых видов – налима, корюшки и ряпушки, следует отметить присутствие 3 видов лососевых – озерного лосося, форели озерной и палии, а также сига (7 форм). Показано также наличие 2 видов миног, угря, 2 видов колюшек и 2 – подкаменщиков.

**Онежское озеро.** Из 36 видов, обитающих в озере, 10–12 видов – карповые, 3 – окуневые. Как и в Ладожском озере, распространены холодолюбивые виды: 3 вида лососевых – форель, озерный лосось и палия, разные формы сигов и ряпушка, налим, корюшка (Кудерский, 2009; Кудерский, Печников, 2002).

По данным С.М. Калюжина (2003), в бассейне **Белого моря** известно всего 68 видов из 29 семейств, в том числе карповых – 7, а окуневых – 2. В отличие от предыдущих водоемов, число видов сравнительно больше. Отмечено 5 видов лососевых – семга, кумжа, голец, нельма и горбуша; 3 вида сиговых – беломорская ряпушка, омуль и ледовитоморский сиг; 2 вида корюшковых – беломорская корюшка и мойва; 5 видов тресковых, 2 – колюшковых, 4 бельдюговых вида и др. Присутствует и атлантическая сельдь.

Отобранные для анализа 11 видов – карась, лещ, плотва, окунь, щука, сельдь, корюшка, атлантический лосось, форель, налим и атлантическая треска, представляющие 7 семейств теплолюбивых и холодолюбивых рыб, в основном, обитают практически во всех указанных выше водоемах. Исключение составляют, естественно, 3 вида – сельдь, семга и атлантическая треска (табл.).

**Температурные характеристики у различных рыб в начале онтогенеза.**

Вид рыб	Нерестовая т-ра, °С	Оптимум эмбриогенеза, °С	Оптимум роста, °С	Конечные избираемые температуры, °С
Карась	14–22.5	17–22.0	28–30.0	27–29.0
Лещ	13–20.0	10–20.0	< 28.0	27.0
Плотва	10–20.0	11–22.0	< 28.0	23–26.0
Окунь	4–17.0	12–18.0	26.0	25–26.0
Щука	7.5–14.0	7–15.0	19–26.0	22–26.0
Сельдь	0–9.0	3–15.0	≈ 3–15.0	25.0?
Корюшка	5–12.0	3.5–13.0	≈ 3.5–13.0	12–13.0
Атл. лосось	0–8.0	3–12.0	12–18.0	14–18.0
Форель	3–8.0	5–10.0	16–17.0	13–17.0
Налим	0–2.0	0.3–1.0	≈ 0.3–1.0	21.0?
Атл. треска	0.5–8.0	4–8.0	≈ 4–8.0	5–8.0

*Примечание.* Составлено на основе данных, приведенных в следующих источниках: Алабастр, Ллойд, 1984; Атлантический лосось..., 1998; Баклашова, 1980; Белое море..., 1995; Веселов, Калюжин, 2001; Голованов и др., 1997; Голованов, Валтонен, 2000; Калюжин, 2003; Татьянкин, 1974; Jobling, 1981. Данные со знаком ≈ – примерные. Данные со знаком ? – единичные и нуждаются в уточнении.

Рассматривая таблицу данных, можно сделать следующие выводы.

Интервал температур нереста и эмбриогенеза или совпадает, или эмбриогенез протекает при температурах несколько выше нерестовых. Оптимум роста у сеголетков и годовиков указанных видов рыб или соответствует температурам эмбриогенеза, или, как правило, несколько выше. В то же время, конечные избираемые температуры, как показатель эколого-физиологического оптимума (Golovanov, 2006; Jobling, 1981), чаще совпадают с оптимальными температурами роста и, очевидно, питания рыб. Представленные данные, безусловно, требуют уточнения и последующей детализации.

Таким образом, в процессе онтогенеза и развития на ранних этапах и периодах (эмбриональный и мальковый), очевидно, заложена «программа» особи развиваться с постепенным повышением температуры окружающей среды. Ранее было показано, что максимально возможная температурная устойчивость, так же, как и оптимальные температуры роста в онтогенезе рыб приходится на возраст – сеголетки и годовики (Голованов, 1996; Голованов, Валтонен, 2000; Golovanov, 2006). Правильность данного положения подтверждается и тем фактом, что в случае сравнительно длительного (1–2 недели) понижения температур после выклева (вопреки благоприятной динамике их повышения) выживаемость молоди рыб резко падает, а последующая урожайность поколения ослабевает (Голованов и др., 1997).

Вторым своеобразным температурным правилом можно считать тот факт, что оптимальные температуры роста, развития и питания у взрослых особей – неполовозрелых и, в особенности, нерестующих производителей – как правило, несколько ниже в сравнении с оптимальными температурами роста, развития и питания сеголетков и годовиков (Алабастер, Ллойд, 1984; Golovanov, 2006; Jobling, 1981). Наиболее простым способом определить различие возможно с использованием такого показателя, как термопреферендум рыб. Данные, характеризующие конечные избираемые температуры молоди рыб Рыбинского водохранилища, а также ряда других холодолюбивых видов и некоторых видов-вселенцев приведены нами в материалах настоящей конференции (Капшай, Голованов, 2009). Конечный термопреферендум взрослых особей у многих видов всегда сравнительно ниже, чем у молоди (Голованов, 1996; Голованов и др., 1997; Reynolds, Casterlin, 1979). Эта разница или относительно невелика (несколько градусов) у более холодолюбивых рыб (корюшка, налим, треска, форель и лосось), или достигает разницы в 5–6°C у ряда теплолюбивых рыб, а иногда даже 10–12°C, как это было показано для леща Рыбинского водохранилища.

В процессах роста, нагула и воспроизводства рыб, при формировании очередных поколений, роль температурного фактора часто является определяющей. Такая взаимосвязь характерна как для морских, так и для естественных пресноводных водоемов. Например, А.И.Баканов с соавторами (1987), при анализе уровней развития кормовой базы и роста 4–10-леток леща в 35-ти водохранилищах России и стран СНГ (в том числе Рыбинском), полагают, что рост водных организмов на 70–80% определяется температурным и трофическим факторами, при этом корреляция с температурой более высока. Такие корреляции известны и для других видов рыб.

Не отрицая вклада трофического и других факторов, подчеркнем значимость двух моментов. Первый – роль общей суммы тепла, «получаемой» за период нагула в каждый год жизни, в особенности, сеголетками и годовиками рыб. По А.Ф. Карпевич (1992), биологическая потенция рыб тесно увязана с местом популяции в ареале данного вида, а также с термическим режимом региона. Второй – значение «места» на температурной шкале жизнедеятельности, в котором протекают основные фазы сезонного жизненного цикла рыб, а также времени, в течение которого это происходит.

Третье своеобразное температурное правило – по возможности, существовать как можно ближе к эколого-физиологическому оптимуму более продолжительный промежуток времени. Здесь следует отметить, что само понятие оптимума жизнедеятельности (его стабильность, астатичность, множественность на температурной шкале жизни, динамичность и статичность, эффект последствия и др.), как и пессимума, продолжает дискутироваться (Вербицкий, 2008; Константинов и др., 1991; Golovanov, 2006). Тем не менее, для теплолюбивых леща и окуня в онтогенезе, а также в разные сезоны года показаны 4 уровня возможного оптимума, соответствующие условно зиме, весне-лету и зиме (Golovanov, 2006; Свирский, Голованов, 1997). Аналогичные уровни в интервале от 0 до 20°C возможны и у холодолюбивых видов рыб (лосось, корюшка и др.). Не исключено, что такие области температур могут быть использованы в качестве оптимальных диапазонов роста и питания также и при суточных вертикальных миграциях рыб (Brett, 1971)

Логическим подтверждением существования более значимых для существования рыб температурных зон является четкая корреляция между численностью отдельных поколений и температурными условиями среды, наблюдаемая лишь при температурах выше определенного уровня, составляющего 14°C для ряда карповых и окуневых видов (Голованов и др., 1997).

Линия температурных критериев, приведенная в таблице – нерестовые температуры, оптимальные температуры эмбриогенеза, оптимальные температуры роста и питания, конечные избираемые температуры рыб – может быть продолжена применительно к молоди, неполовозрелым и половозрелым особям, а также для различных периодов сезонных жизненных циклов (летом, осенью, зимой и весной). Такие критерии для модельных видов – тепло- и холодолюбивых рыб – служат основой для разработки стратегии и тактики использования рыбных ресурсов северо-западных регионов России. Большой интерес представляет и получение принципиально новых данных по температурным критериям видов-вселенцев, в настоящее время они практически отсутствуют. В качестве еще одного важного критерия широко применяются верхние и нижние летальные температуры молоди и взрослых рыб, характеризующие верхние и нижние границы их жизнедеятельности. Они выявляют так называемые полигоны термоустойчивости, животных, по которым количественно оценивают степень эври- и стенотермности рыб.

Два показателя – конечные избираемые температуры (КИТ) и верхние летальные температуры (ВЛТ) рыб с учетом общей амплитуды температурного диапазона их жизнедеятельности стали ранее основой классификации рыб по их отношению к температурному фактору среды (Голованов, 2008). Для видов, обитающих в пресноводных водоемах северо-запада России, было выделено несколько групп. 1 – наиболее эвритермные, теплолюбивые (например, карась). 2 – эвритермные, теплолюбивые (например, лещ, плотва и окунь). 3 – умеренно эвритермные теплолюбивые (например, щука и осетр). 4 – стенотермные, холодолюбивые (например, семга, корюшка и налим). Исходя из показателей таблицы, в настоящее время затруднительно отнести сельдь к определенной группе ввиду недостатка данных. В то же время, атлантическую треску можно охарактеризовать как представителя 5 группы – наиболее стенотермных, холодолюбивых рыб.

Разработка температурных критериев жизнедеятельности рыб и классификация их по отношению к температуре среды вносят весомый вклад в оценку поведения и распределения рыб, прогноз урожайности поколений и динамики численности у разных видов, анализ долгосрочных изменений ихтиофауны водоемов, а также в решение многие других вопросов применительно к проблеме биологических ресурсов.

*Работа выполнена в рамках Программы ОБН РАН «Биологические ресурсы России».*

#### Литература

- Алабастр Дж., Ллойд Р. 1984. Критерии качества воды для пресноводных рыб // М.: Легкая и пищевая промышленность. 344 с.
- Атлантический лосось. 1998. СПб.: Наука. 575 с.
- Атлас пресноводных рыб России. В 2 т. М.: Наука, 2002. Том 1. 379 с. Том 2. 253 с.
- Баканов А.И., Кияшко В.И., Сметанин М.М., Стрельников А.С. 1987. Уровень развития кормовой базы и рост рыб // Вопр. ихтиол. Т.27. Вып.1. С. 609–617.
- Баклашова Т.А. Ихтиология. 1980. М.: Пищевая пром-сть. 324 с.
- Белое море. Биологические ресурсы и проблемы их рационального использования. Ч. II. 1995. / В серии: Исследование фауны морей. Вып. 42(50). СПб. 250 с.
- Болотова Н.Ф., Коновалов А.Ф. 2002. Гл. 6. Рыбное население Шекснинского водохранилища // Современное состояние экосистемы Шекснинского водохранилища. Ярославль: Изд-во ЯГТУ. С. 211–279.
- Вербицкий В.Б. 2008. Понятие экологического оптимума и его определение у пресноводных пойкилотермных животных // Ж. общ. биол. Т. 69. № 1. С. 44–56.
- Веселов А.Е., Калужин С.М. 2001. Экология, поведение и распределение атлантического лосося. Петрозаводск: Карелия. 160 с.
- Вирбицкас Ю.Б. 1988. Структура и динамика популяции и рыбного населения пресноводных водоемов под влиянием теплового воздействия. Автореф. дис., д.б.н. Москва. 48 с.
- Голованов В.К. 1996. Эколого-физиологические аспекты терморегуляционного поведения пресноводных рыб // Поведение и распределение рыб. Докл. 2-го Всерос. совещ. «Поведение рыб». Борок. С. 16–40.
- Голованов В.К. 2007. Оценка температурного оптимума и температурных границ жизнедеятельности у пресноводных рыб // Рациональное использование пресноводных экосистем – перспективное направление реализации национального проекта «Развитие АПК» (2007, Москва). Международная научно-практическая конференция, 17–19 декабря 2007 г. Материалы и доклады / ГНУ ВНИИР Россельхозакадемии. М.: Изд-во Россельхозакадемии. С. 112–116.
- Голованов В.К. 2008. Температурные требования пресноводных рыб в водоемах Северо-Запада России // Организмы, популяции, экосистемы: проблемы и пути сохранения разнообразия. Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Водные и наземные экосистемы: проблемы и перспективы исследований» (Вологда, Россия, 24–28 ноября 2008 г.). Вологда. С. 25–28.

Голованов В.К., Валтонен Т. 2000. Изменчивость термоадаптационных свойств радужной форели *Oncorhynchus mykiss* Walbaum в онтогенезе // Биол. внутр. вод. № 2. С 106–115.

Голованов В.К., Смирнов А.К., Болдаков А.М. 2005. Воздействие термального загрязнения водохранилищ Верхней Волги на рыбное население: современное состояние и перспективы // Актуальные проблемы рационального использования биологических ресурсов водохранилищ. Рыбинск: Изд-во ОАО «Рыбинский Дом печати». С. 59–81.

Голованов В.К., Свирский А.М., Извеков Е.И. 1997. Температурные требования рыб Рыбинского водохранилища и их реализация в естественных условиях // Современное состояние рыбных запасов Рыбинского водохранилища. Ярославль: ЯрГТУ. С. 92–116.

Калюжин С.М. 2003. Атлантический лосось Белого моря. Проблемы воспроизводства и эксплуатации. Петрозаводск: «Петро-Пресс». 264 с.

Капшай Д.С., Голованов В.К. 2009. Термопреферендум молоди карповых и окуневых видов рыб Верхней Волги // Материалы XXVIII Международн. конф. «Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера». Петрозаводск.

Карпевич А.Ф. 1992. Биопотенция и теплоемкость рыб // VIII Научн. конф. экол. физиол. и биохим. рыб. Петрозаводск. Т.1. С.135–136.

Константинов А.С., Зданович В.В., Шолохов А.М. 1991. Астатичность температурных условий как фактор оптимизации роста, энергетики и физиологического состояния молоди рыб // Вестн. Московск. ун-та. Сер. 16. Биол. № 2. С. 38–44.

Кудерский Л.А. 2005. Изменения рыбного населения водоемов Европейской части России в XX столетии // Чужеродные виды в Голарктике (Борок-2). II Междун. Симп. Борок, 27 сентября – 1 октября 2005 г. С. 156–157.

Кудерский Л.А. 2009. Изменение состояния рыбного населения Онежского озера с 60-х годов XIX столетия по 2000-й год // Материалы XXVIII Международн. конф. «Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера». Петрозаводск.

Кудерский Л.А., Печников А.С. 2002. 7.6. Динамика рыбного населения озера // Ладожское озеро – прошлое, настоящее, будущее / Биологические сообщества как индикаторы состояния Ладожского озера. СПб: Наука. С. 224–237.

Свирский А.М., Голованов В.К. 1999. Изменчивость терморегуляционного поведения рыб и ее возможные причины // Усп. соврем. биол. Т. 119. № 3. С. 259–264.

Татьянкин Ю.В. 1972. Распределение молоди трески *Gadus morhua* morhua L., сайды *Pollachius virens* L. и пикши *Melanogrammus aeglefinus* L. в термоградиентных условиях // Вопр. ихтиол. Т. 12. Вып. 6. С. 1104–1113.

Терещенко В.Г., Стрельников А.С. 1997. Многолетние изменения в структуре рыбного населения Рыбинского водохранилища // Современное состояние рыбных запасов Рыбинского водохранилища. Ярославль: ЯрГТУ. С. 21–37.

Экологические проблемы Верхней Волги. 2001. Коллективная монография. Ярославль: Изд-во ЯГТУ. 427 с.

Brett J.R. 1971. Energetic responses of salmon to temperature. A study of some thermal relations in the physiology and freshwater ecology of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) // Amer. Zool. V. 1. № 11. P. 99–113.

Golovanov V.K. 2006. The ecological and evolutionary aspects of thermoregulation behavior of fish // Journal of Ichthyology. Vol. 46. Suppl. 2. P. S180–S187.

Jobling M. 1981. Temperature tolerance and the final preferendum – rapid methods for the assessment of optimum growth temperature // J. Fish. Biol. Vol. 19. № 4. P. 439–455.

Magnuson J.J., Crowder L.B., Medvick P.A. 1979. Temperature as an ecological resource // Amer. Zool. Vol.19. № 1. P. 331–343.

Reynolds W.W., Casterlin M.E. 1979. Behavioral thermoregulation and the «final preferendum» paradigm // Amer. Zool. V. 19. № 1. P. 211–224.

## TEMPERATURE CRITERIA FOR FRESHWATER FISHES OF NORTH-WEST RUSSIA

V.K. Golovanov

Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Yaroslavl reg., Russia

e-mail: golovan@ibiw.yaroslavl.ru

For every specie of fishes most effective temperature «script» of passage for seasonal life cycles can be picked up. In the analysis 11 species of fishes from five water-bodies of North-West of Russia are used. Among water-bodies – Rybinsk reservoir, White lake, Ladoga lake, Onega lake, and also White sea. Certain temperature «rules» are formulated, according to which there is a successful functioning of fishes in dynamical temperature conditions of external environment. In process ontogenesis and development at early stages and periods «programme» of individual is incorporated to develop with gradual increase of temperature of an environment. The optimum temperatures of growth, development and feeding at the

adult особей – immature and mature usually are lower in comparison with fingerlings and yearlings. The third original temperature rule – whenever possible to exist as longer interval of time is possible closer to an ecological-physiological optimum. Two parameters – final preferred temperatures and upper lethal temperatures of fishes in view of general amplitude of a temperature range of their ability to live have allowed quantitatively classifying fishes on groups cold- and warm water under their relation to the temperature factor of environment.

## **ГИДРОЛИЗ УГЛЕВОДОВ У РЫБ С РАЗЛИЧНЫМ НАКОПЛЕНИЕМ РТУТИ В ОРГАНИЗМЕ**

**И.Л. Голованова**

Учреждение Российской академии наук Институт биологии внутренних вод  
им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Ярославская обл., Россия  
e-mail: golovan@ibiw.yaroslavl.ru

В настоящее время практически все водоемы загрязнены тяжелыми металлами, среди которых ртуть по уровню токсического влияния на физиолого-биохимический статус гидробионтов занимает ведущее место. Поступая в организм рыб преимущественно алиментарным путем, она аккумулируется в различных тканях и органах в количествах, значительно превышающих ее концентрацию в воде. Распределение ртути по органам и тканям часто имеет следующий порядок: мышцы > печень > кишечник > селезенка > мозг > гонады, что объясняется повышенным содержанием в мышцах функциональных групп белков (–SH, –COOH), к которым ртуть обладает высоким сродством. Содержание ртути в мышцах рыб из незагрязненных участков Рыбинского водохранилища не превышает предельно допустимого уровня в пресноводной пищевой рыбе – 0.3–0.6 мг/кг, в других водоемах России достигает 3.1 мг/кг (Комов и др., 2004). Уровни такого порядка негативно влияют на ряд жизненно важных функций у рыб и потребляющих их животных, а после гибели рыб ртуть, накопленная в их органах и тканях, представляет угрозу и для организмов, питающихся продуктами разложения этой рыбы.

Результаты изучения биохимического статуса рыб с повышенным содержанием ртути в мышцах свидетельствуют об изменениях белкового, липидного и углеводного обмена (Немова, 2005). Ртуть вызывает некротические изменения в клетках слизистой оболочки пищеварительного тракта рыб, снижая скорость гидролиза пищевых субстратов и транспорта нутриентов во внутреннюю среду организма (Sastry, Rao, 1982; Sastry et al., 1982). В большинстве работ по изучению влияния ртути на активность пищеварительных ферментов используются неорганические соединения металла. При этом хорошо известно, что в условиях естественных водоемов ртуть подвергается бактериальному метилированию с образованием более токсичных ртутьорганических соединений, а низкие значения pH воды способствуют ускорению этого процесса. Органические соединения ртути, в частности ее метилированная форма (метилртуть), обладающая липофильными свойствами и легко преодолевающая биологические мембраны, быстрее проникают и медленнее выводятся из организма, что приводит к их более эффективному накоплению по водной трофической цепи. Так, содержание метилртути достигает 10–30% общего содержания ртути у растений, 20–80% у беспозвоночных и 80–99% в тканях пресноводных рыб. Однако изучения влияния метилртути на пищеварительные ферменты и эффективность гидролиза углеводов у рыб до последнего времени не проводилось.

Цель работы состояла в изучении долговременного влияния ртути на активность пищеварительных карбогидраз и кинетические характеристики гидролиза углеводов в кишечнике рыб с различным накоплением ртути в мышечной ткани.

В работе исследована активность карбогидраз:  $\alpha$ -амилазы КФ 3.2.1.1, осуществляющей начальные этапы гидролиза крахмала (модифицированный метод Смита и Роя), сахаразы КФ 3.2.1.48, гидролизующей сахарозу (модифицированный метод Нельсона), и суммарная активность ферментов, гидролизующих крахмал ( $\alpha$ -амилазы, глюкоамилазы КФ 3.2.1.3 и мальтазы КФ 3.2.1.20) – общая амилолитическая активность (модифицированный метод Нельсона) (Уголев и др., 1969).

В аквариальных экспериментах по изучению действия метилртути, содержащейся в корме природного происхождения (фарш из мышц рыб), на активность ферментов, гидролизующих угле-

воды в кишечнике молоди окуня (30 сут) и карася (75 сут) не выявлено различий физиоло-биохимических показателей рыб, получавших корм с низким (0.11 мг/кг) и высоким (0.5 мг/кг) содержанием ртути. В то же время у карпа более длительное (3 и 6 мес.) действие повышенных концентраций ртути в корме снижало активность пищеварительных карбогидраз и сродство ферментов к субстрату (о чем свидетельствует увеличение значений константы Михаэлиса ( $K_m$ ) гидролиза крахмала). Активность панкреатической  $\alpha$ -амилазы снижалась в большей степени (на 36%), чем общая амилазная активность (на 16–35%) или активность сахаразы (на 18%), демонстрируя, что ферменты, осуществляющие начальные этапы гидролиза углеводов и функционирующие в полости кишечника, более чувствительны к токсическому действию ртути по сравнению с собственно кишечными мембранными ферментами, завершающими расщепление пищевых субстратов в кишечнике рыб.

Эксперименты длительностью 4–5 мес. на сеголетках плотвы и окуня в условиях, приближенных к природным (бассейны под открытым небом), выявили достоверное снижение общей амилазной активности и активности сахаразы, а также увеличение значений  $K_m$  гидролиза ди- и полисахаридов, свидетельствующее об снижении скорости начальных этапов усвоения углеводов и уменьшении сродства ферментов к субстрату у рыб при увеличении содержания ртути в организме. На примере сеголетков плотвы показано интенсивное накопление ртути в организме в концентрации, соразмерной количеству ртутьорганических соединений, поступающих с кормом (табл.).

**Морфометрические и физиолого-биохимические показатели сеголетков плотвы *Rutilus rutilus* с разным содержанием Hg в организме**

Показатель	Вариант опыта		
	I (контроль)	II	III
Содержание Hg, мг/кг:			
в корме	0.006 – 0.007 <sup>a</sup>	0.02 – 0.03 <sup>b</sup>	0.30 – 0.40 <sup>b</sup>
в сырой массе рыб	0.02 ± 0.001 <sup>a</sup>	0.03 ± 0.002 <sup>b</sup>	0.16 ± 0.007 <sup>c</sup>
Длина тела, см	4.64 ± 0.12 <sup>a</sup>	5.51 ± 0.08 <sup>b</sup>	5.39 ± 0.09 <sup>b,b</sup>
Масса тела, г	1.62 ± 0.09 <sup>a</sup>	2.87 ± 0.06 <sup>b</sup>	2.63 ± 0.06 <sup>b</sup>
ОАА, мкмоль/(г · мин)	26.7 ± 0.42 <sup>a</sup>	31.9 ± 0.69 <sup>b</sup>	23.2 ± 0.41 <sup>b</sup>
$K_m$ гидролиза крахмала, г/л	0.85 ± 0.10 <sup>a</sup>	1.2 ± 0.10 <sup>b</sup>	2.8 ± 0.05 <sup>b</sup>
$V_{max}$ гидролиза крахмала, мкмоль/(г · мин)	32.0 ± 0.49 <sup>a</sup>	37.5 ± 1.36 <sup>b</sup>	29.2 ± 0.96 <sup>b</sup>
Активность сахаразы, мкмоль/(г · мин)	0.87 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.90 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.78 ± 0.02 <sup>b</sup>
$K_m$ гидролиза сахаразы, ммоль	6.59 ± 0.15 <sup>a</sup>	9.81 ± 0.36 <sup>b</sup>	10.8 ± 0.36 <sup>b</sup>
$V_{max}$ гидролиза сахаразы, мкмоль/(г · мин)	1.11 ± 0.03 <sup>a</sup>	1.14 ± 0.03 <sup>a</sup>	1.16 ± 0.02 <sup>a</sup>
Число рыб, экз.	7	17	21

*Примечание.* Приведены средние значения и их ошибки; индексы в строке указывают на статистически достоверные различия между вариантами опыта для каждого показателя (ANOVA, LSD-test,  $p < 0.05$ ). ОАА – общая амилазная активность.

Однако снижение активности карбогидраз, свидетельствующее об уменьшении скорости начальных этапов ассимиляции углеводов, не вызывало снижения показателей линейно-массового роста экспериментальных рыб, масса которых на 44–77%, а длина тела на 13–18% превышала аналогичные показатели в контроле. Превышение роста подопытных рыб по сравнению с контрольными особями при низких концентрациях токсикантов и обилии корма может быть обусловлено как потреблением большего количества пищи, так и снижением активности рыб, подверженных действию токсических веществ, позволяющим компенсировать снижение эффективности утилизации потребляемой пищи. Кроме того, увеличение морфометрических показателей молоди рыб при хроническом действии повышенного содержания ртути в корме может быть обусловлено компенсаторным увеличением усвоения аминокислот на фоне снижения показателей углеводного обмена (Sastry, Rao, 1982).

Результаты натурных наблюдений также свидетельствуют о негативном влиянии повышенного содержания ртути в организме на гидролиз углеводов в кишечнике рыб. У одноразмерных особей окуня из природных водоемов Вологодской обл. с нейтральным значением pH воды (оз. Кубенское, оз. Белое, Сизьменский залив Шекснинского водохранилища) большее содержание ртути в организме сопровождается снижением активности пищеварительных карбогидраз на 10–20% и повышением значений  $K_m$  гидролиза крахмала и сахаразы в 2–3.6 раза. В то же



время, в условиях ацидификации отмечено значительное снижение значений  $K_m$ , отражающее увеличение сродства ферментов к субстрату. Действительно, у окуня из кислотных озер Дарвиновского заповедника (оз. Дубровское и Мотыкино, pH 4.5)  $K_m$  гидролиза ди- и полисахаридов в 2–10 раз ниже по сравнению с рыбами из оз. Хотавец (pH воды 7.4). Этот факт может быть обусловлен более высоким накоплением ртути в кишечнике окуня из кислотных озер (до 80% от содержания в мышцах) по сравнению с рыбами из водоемов с нейтральным значением pH воды (лишь 25% от содержания в мышцах).

Таким образом, в экспериментальных условиях показано накопление ртути в мышечной ткани рыб пропорциональное количеству ртутьорганических соединений, вносимых в бассейны. Накопление ртути в организме рыб из водоемов с нейтральным значением pH воды вызывает неспецифическое снижение активности пищеварительных карбогидраз и сродства ферментов к субстрату, уменьшая скорость начальных этапов ассимиляции углеводных компонентов корма. У окуня, длительное время живущего в условиях ацидификации, отмечено адаптивное повышение сродства ферментов к субстрату, что, по всей вероятности, позволяет частично компенсировать неблагоприятное влияние факторов среды на скорость переваривания углеводных компонентов пищи.

*Автор выражает глубокую признательность сотрудникам лаборатории физиологии и токсикологии водных животных В. Т. Кому и В. А. Гремячих за постановку хронических экспериментов и определение содержания ртути.*

### Литература

Комов В. Т., Степанова И. К., Гремячих В. А., 2004. Содержание ртути в мышцах рыб из водоемов Северо-Запада России: причины интенсивного накопления и оценка негативного эффекта на состояние здоровья людей // Актуальные проблемы водной токсикологии. Борок: Рыбинский Дом печати. С. 99–123.

Немова Н. Н., 2005. Биохимические эффекты накопления ртути у рыб. М.: Наука. 164 с.

Уголев А. М., Иезуитова Н. Н., Масевич Ц. Г. и др., 1969. Исследование пищеварительного аппарата у человека. Обзор современных методов. Л.: Наука. 216 с.

Sastry K. V., Rao D. R., 1982. Chronic effects of mercuric chloride on the activities of some enzymes in certain tissues of the fresh water murrel *Channa punctatus* // Chemosphere. V. 11. № 12. P. 1203–1210.

Sastry K. V., Rao D. R., Singh S. K., 1982. Mercury induced alterations in the intestinal absorption of nutrients in the fresh water murrel *Channa punctatus* // Chemosphere. V. 11. № 6. P. 613–619.

## HYDROLYSIS OF CARBOHYDRATES IN FISH AT DIFFERENT LEVELS OF MERCURY ACCUMULATION

I. L. Golovanova

Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences,  
Borok, Yaroslavl reg., Russia  
e-mail: golovan@ibiw.yaroslavl.ru

It has been shown that chronic exposure to dietary mercury results in the intensive accumulation of this metal in roach *Rutilus rutilus* yearlings. The concentrations of accumulated mercury in their organisms were proportional to the amount of metal added to water of experimental tanks. Increased Hg content in the organisms (0.05–0.16 mg/kg) of developing juvenile roaches decreases the activity of digestive carbohydrases and the affinity of enzymes to substrate with subsequent retardation of rates of initial stages of digestion. Investigation of hydrolysis of carbohydrates in the intestine of the perch *Perca fluviatilis* with varying mercury content in muscles revealed considerable changes in the amylolytic and sucrase activity, and kinetic characteristics of hydrolysis of di- and polysaccharides. In the experimental juveniles of perch and in the adult fish caught in natural water bodies with neutral water pH, the amylolytic activity decreased and the apparent  $K_m$  increased at higher mercury concentrations in the organism. In perch from acid lakes the apparent  $K_m$  decreased, indicating an increase of the affinity of enzymes to substrata at higher mercury loads. The latter may be caused by higher mercury content in the intestine of fish from acid lakes in comparison with fish from neutral water bodies and may be interpreted as adaptation.

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ АССИМИЛЯЦИИ УГЛЕВОДОВ И СОДЕРЖАНИЕ ПОЛИХЛОРИРОВАННЫХ БИФЕНИЛОВ У ЛЕЩА РАЗЛИЧНЫХ ПЛЕСОВ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

И.Л. Голованова<sup>1</sup>, А.А. Филиппов<sup>1</sup>, Е.С. Бродский<sup>2</sup>,  
А.А. Шелепчиков<sup>2</sup>, Д.Б. Фешин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Учреждение Российской академии наук Институт биологии внутренних вод  
им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Ярославской обл., Россия

<sup>2</sup> Учреждение Российской академии наук Институт проблем экологии и эволюции  
им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва  
e-mail: golovan@ibiw.yaroslavl.ru

Полихлорированные бифенилы (ПХБ) – одна из самых распространенных групп стойких органических загрязнителей, относящихся к классу хлорорганических соединений, включающая 209 индивидуальных соединений (конгенеров), отличающихся числом и положением атомов хлора в молекуле. В настоящее время выпуск ПХБ во многих развитых странах запрещен, хотя ранее они широко использовались в качестве наполнителей электрооборудования, компонентов смазочных масел, красок и пластмасс. Впервые наличие ПХБ в экосистеме Рыбинского водохранилища было зарегистрировано в 1987 г. после широкомасштабной аварии на ОАО «Северсталь», приведшей к экологической катастрофе. Дальнейшие исследования выявили наличие ПХБ в основных элементах экосистемы водохранилища: воде, донных отложениях, бентосе и рыбе, причем наиболее загрязненным оказался Шекснинский плес, в который поступают сточные воды промышленных предприятий г. Череповец (Герман, Законов, 2003; Chuiko et al., 2007). В период с 1990 по 2006 г. содержание ПХБ в одном из массовых видов промысловых рыб – леще достоверно снизилось. Однако профиль конгенерного состава ПХБ в его тканях и стабильный уровень содержания токсиканта в донных отложениях свидетельствуют о том, что ПХБ до сих пор поступают в экосистему Рыбинского водохранилища (Чуйко и др., 2008).

Установлено, что ПХБ даже в малых дозах оказывают токсическое и мутагенное действие, нарушают репродуктивную функцию, поведение, являются активными промоторами карциномы печени, опухолевых новообразований и предшествующих им нарушений метаболизма (Niimi, 1996). Как и другие токсические вещества, находящиеся в воде, грунте и объектах питания рыб, они могут влиять на разные этапы процесса экзотрофии. При этом возможно как прямое, так и опосредованное действие токсических веществ на ферментные и транспортные системы пищеварительного тракта рыб. В связи с этим представляется важным получение сведений о влиянии ПХБ на ферменты пищеварительного тракта, обеспечивающие гидролиз углеводов у массовых видов пресноводных костистых рыб, имеющих важное промысловое значение.

Цель работы состояла в изучении активности пищеварительных карбогидраз и кинетических характеристик гидролиза углеводов в кишечнике леща *Abramis brama* (L.) с различным содержанием ПХБ в печени.

В работе исследованы одноразмерные особи леща ( $n = 7-10$  экз.), отловленные в июле 2008 г. на двух участках Рыбинского водохранилища: Моложском (Первомайские о-ва), наиболее удаленном от локального источника загрязнения, и Шекснинском (Любец), ближайшем к г. Череповец. В условиях *in vitro* (температура 20°C, pH 7.4) определяли активность карбогидраз:  $\alpha$ -амилазы КФ 3.2.1.1, осуществляющей начальные этапы гидролиза крахмала (модифицированный метод Смита и Роя), сахаразы КФ 3.2.1.48, гидролизующей сахарозу, и амилаolitikую активность, отражающую суммарную активность ферментов, гидролизующих крахмал ( $\alpha$ -амилазы, глюкоамилазы КФ 3.2.1.3 и мальтазы КФ 3.2.1.20) (модифицированный метод Нельсона) (Уголев и др., 1969). Общее содержание ПХБ и их конгенеров определяли методом хромато-масс-спектрометрии высокого разрешения в лаборатории аналитической экотоксикологии (ИПЭЭ РАН).

Общее содержание ПХБ в печени леща из Шекснинского плеса в 33 раза выше, чем у рыб из Моложского плеса (см. табл.). Определение конгенерного состава ПХБ показало, что в печени леща Шекснинского плеса доминируют наиболее токсичные высокохлорированные пента- и гексаконгенеры (у рыб Моложского плеса – тетра- и пентаконгенеры), что соответствует общей тенденции накопления высоко хлорированных ПХБ по мере прохождения по трофической цепи (Клюев, Бродский, 2000). При этом у рыб из наиболее близкого к источнику загрязнения Шекснинского плеса содержание дихлорированных бифенилов в 1.5 раза, трихлорированных в 4.5, тетрахлорированных в 10, пентахлорированных в 43, а гексахлорированных бифенилов в 67 раз выше, чем у рыб из Моложского плеса.

# **Содержание конгенов ПХБ и морфо-физиологические показатели леща из двух районов Рыбинского водохранилища.**

Показатель	Плѣс	
	Моложский	Шекснинский
Общее содержание конгенов, нг/г сырой массы печени:		
дихлорированных бифенилов	0.21 ± 0.04	0.31 ± 0.08
трихлорированных бифенилов	2.1 ± 0.2	9.1 ± 2.4*
тетрахлорированных бифенилов	7.4 ± 1.2	76.9 ± 16.2*
пентахлорированных бифенилов	9.5 ± 2.5	405.4 ± 102.1*
гексахлорированных бифенилов	3.84 ± 0.7	256.8 ± 51.4*
Общая сумма ПХБ, нг/г сырой массы печени	24.1 ± 4.6	795.6 ± 187.9*
Масса тела, г	664.7 ± 53.4	688.4 ± 112.7
Длина тела, см	31.1 ± 0.9	31.9 ± 2.2
Амилолитическая активность, ммоль/г·мин	6.6 ± 0.6	7.6 ± 1.0
Активность сахаразы, ммоль/г·мин	0.31 ± 0.03	0.32 ± 0.04
Активность α-амилазы, мг/ г·мин	35.9 ± 2.8	27.2 ± 1.0
Km гидролиза крахмала, г/л	36.1 ± 1.8	27.2 ± 1.9*
Vmax гидролиза крахмала, ммоль/г·мин	12.6 ± 0.5	11.9 ± 1.2
Km гидролиза сахарозы, ммоль	19.9 ± 3.9	7.0 ± 1.4*
Vmax гидролиза сахарозы, ммоль/г·мин	0.6 ± 0.1	0.5 ± 0.1

*Примечание:* приведены средние значения показателей и их ошибки (M ± m), \* – статистически достоверные различия между показателями у рыб из указанных районов.

Статистически значимых различий активности карбогидраз (амилолитическая активность, активность сахаразы и α-амилазы) у исследованных групп леща не выявлено. При изучении амилолитической активности в диапазоне температур инкубации от 0 до 70° С установлено, что температурный оптимум ферментов, расщепляющих крахмал, у леща обоих изученных районов равен 50°С. В то же время значения кажущейся константы Михаэлиса (Km) гидролиза крахмала на 25%, а Km гидролиза сахарозы на 65% ниже у рыб из Шекснинского плеса, что свидетельствует об увеличении фермент-субстратного сродства и адаптивных изменениях этого показателя с ростом накопления ПХБ в печени рыб.

Способность ПХБ изменять активность ферментов была отмечена ранее для β-глюкуронидазы в лизосомальной и микросомальной фракциях гепатопанкреаса карпа *Cyprinus carpio* (L.) (Ito et al., 1980). В хроническом эксперименте установлено негативное действие ПХБ, поступающих с загрязненным грунтом и/или пищей, на активность ферментов, расщепляющих углеводные компоненты корма в кишечнике молоди плотвы *Rutilus rutilus* (L.) (Голованова и др., 2008). При этом показано, что эффекты действия ПХБ на активность карбогидраз и кинетические характеристики гидролиза крахмала и сахарозы по мере увеличения продолжительности эксперимента меняются в различных направлениях в зависимости от возраста рыб и условий эксперимента.

Таким образом, при исследовании двух популяций леща Рыбинского водохранилища установлено, что общее содержание ПХБ в печени рыб Шекснинского плеса в 33 раза выше по сравнению с рыбами более чистого Моложского плеса. При этом в печени рыб Шекснинского плеса доминируют наиболее токсичные высокохлорированные пента- и гексаконгены. Статистически достоверных различий в активности карбогидраз, расщепляющих углеводные компоненты корма, у рыб исследованных районов не выявлено. В то же время у леща Шекснинского плеса отмечено достоверное увеличение фермент-субстратного сродства, свидетельствующее об адаптивных изменениях этого показателя с ростом накопления ПХБ в печени рыб.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант №08-05-00805.*

## **Литература**

- Герман А. В., Законов В. В. 2003. Аккумуляция полихлорированных бифенилов в Шекснинском плесе Рыбинского водохранилища // Водные ресурсы. Т. 30, № 5. С. 571–575.
- Голованова И. Л., Чуйко Г. М., Филиппов А. А. 2008. Влияние ПХБ на гидролиз углеводов у молоди плотвы // Матер. объедин. III Всерос. конф. по водной токсикологии «Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы» и конф. по гидроэкологии «Критерии оценки качества вод и методы нормирования антропогенных нагрузок». Борок, Ч. 2. С. 19–22.

- Клюев Н. А., Бродский Е. С. 2000. Определение полихлорированных бифенилов в окружающей среде и биоте. Полихлорированные бифенилы. Супертоксиканты XXI века. Инф. выпуск № 5 ВИНТИ, Москва. С. 31–63.
- Уголев А. М., Иезуитова Н. Н., Масевич Ц. Г. и др., 1969. Исследование пищеварительного аппарата у человека. Обзор современных методов. Л.: Наука. 216 с.
- Чуйко Г. М., Законнов В. В., Герман А. В. и др. 2008. Распределение полихлорированных бифенилов в экосистеме Рыбинского водохранилища при их локальном поступлении // Современное состояние водных биоресурсов. Матер. науч. конф. Владивосток: ТИНРО-центр. С. 680–685.
- Ito Y., Nishimura K., Murata T. 1980. Effects of PCB on lysosomes in the hepatopancreas of carp. // Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. V.46. № 4. P.469–472.
- Niimi A. J. 1996. PCBs in aquatic organisms // In: Beyer W.N., Heinz G.H., Redmon-Norwood F.W. (eds) Environmental contaminants in wildlife. Interpreting tissue concentrations. Boca Raton-NY-London-Tokyo: CRC Press. Ch.5. P.117–151.

## **EFFICIENCY OF CARBOHYDRATES ASSIMILATION AND PCB CONTENTS IN BREAM FROM DIFFERENT PARTS OF THE RYBINSK RESERVOIR**

**I.L. Golovanova<sup>1</sup>, A. A. Filippov<sup>1</sup>, E.S. Brodskii<sup>2</sup>, A.A.Shelepchikov<sup>2</sup>, D.B.Feshin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Papanin Institute for Biology of Inland Waters, RAS, Borok, Yaroslavl reg., Russia

<sup>2</sup> Severtsov Institute of Ecology and Evolution, RAS, Moscow, Russia.

e-mail: golovan@ibiw.yaroslavl.ru

The extent of polychlorinated biphenyls (PCB) contaminations in liver and digestive carbohydrase activity in bream taken from two parts of Rybinsk Reservoir (Sheksna Reach and Mologa Reach) were investigated. The total PCB concentrations in liver bream from Sheksna Reach (796 ng/g wet wt of liver) in 33 times is higher in comparison with one in bream from Mologa Reach. The level intestinal carbohydrase activity in fish from two locations is not statistically different. At the same time an increase of the affinity of digestive enzymes to substrata reflecting the adaptive changes of this parameter with growth of accumulation PCB in a liver of fishes from Sheksna Reach is marked.

## **ПРИБРЕЖНОЕ РЫБОЛОВСТВО СОЛОВЕЦКОГО АРХИПЕЛАГА, ИСТОРИЯ, СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ВОЗМОЖНОСТИ**

**Ю.В. Гончаров**

Северный филиал Полярного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича, г. Архангельск, Россия

e-mail: rik@sevpinro.ru

### **Введение**

Уникально географическое положение Соловецкого архипелага на стыке Онежского, Двинского заливов и Бассейна Белого моря. Экосистема прилегающих к островам вод богата кормовыми организмами. Это исключительно высокопродуктивный район Белого моря. Через акваторию Соловецкого архипелага проходят пути миграции основных промысловых рыб: сельди, трески, наваги, корюшки. Восточная и Западная Соловецкие Салмы являются местами нагула беломорской сельди, где она образует значительные скопления.

### **Материалы и методы**

Морской рыбной ловлей на Соловецком архипелаге занимались еще первые их обитатели о чем говорят археологические находки. Но несомненно начало регулярного освоения морских рыбных ресурсов островов можно отнести к основанию в XV веке Соловецкого монастыря.

В данной соловецкому игумену Ионе властями Великого Новгорода грамоте (около 1450 г.), укреплявшей за монастырем право на владение Соловецкими островами, говорится: «В тех островах (пожаловал Новгород игумена и братию) землею и ловищами, и тонями, и пожнями, и лешими озера, земля им делати, и пожне косити, и лешия озера ловити, и тоне ловити добровольно»

Тоней называли определенный участок водоема с побережьем, приспособленный для ловли рыбы, и иногда боя морского зверя. Тони представляли собой экономические и хозяйственные

ячейки рыбного промысла поморов. За отсутствием хлебопашества, они заменяли местному населению земельные наделы.

Соловецкий монастырь на своих тонях старался установить строгий порядок. Инструкциями архимандрита приказчикам вменялось в обязанность «смотреть над трудниками чтоб не пьянствовали, драк и ссор между собою и с посторонними отнюдь не чинили и припасов не тратили, равным же образом и вам того не чинить же под опасением жесточайшего истязания...».

Хозяйственные службы монастыря, в том числе рыболовецкие тони содержались в образцовом порядке. К ним были проложены дороги. В Сосновой губе к островку на котором собственно располагается тоня отсыпана дамба. Были построены дома для ловцов, пристани, ледники, амбары. Основным орудием лова служил тягловый невод, для облечения его выборки применялись ворота.

Вот пример описания лова сельди на тоне Соловецкого острова в конце XIX-го начале XX века: «По берегам Соловецких островов устроены тони сельдяного лова. Сети, погруженные с гирями, тянут с двух сторон к – берегу человек десять монахов, нередко стоящих выше пояса в вод. Круг сети суживается, когда они подходят к берегу, и сельдь начинает блестеть серебристо-розовыми, радужными спинками. По мере того, как ее выбрасывают на берег, краски ее чешуек меркнут. Зараз вытягивают на тонях иногда пудов 150 (2400 кг), а по меньшей мере 30 (480 кг). В иных местах тоню (невод) тянут воротом. Выловленную сельдь на берегу солят и свозят в погреба обители.»

Если сравнить промысловые участки – тони, Соловецкого архипелага, с другими районами и заливами Белого моря, то надо отметить, что здесь по открытой воде промысел может быть круглогодичным. Очень удобны в этом отношении бухты, защищенные от ветра мелкими островами, каменистыми грядами – коргами. Вокруг архипелага лежат мелководья – стамики, которые удобны для постановки сетных порядков.

К тому же при преобладании какого либо ветра и невозможности лова с наветренной стороны острова всегда можно использовать тони противоположной подветренной стороны.

Губа Глубокая образует залив находящийся внутри Большого Соловецкого острова и связанный с морем узким проливом.

На северной стороне Большого Соловецкого острова располагается Сосновая губа. Этот участок защищён почти со всех сторон мелкими островами.

На юго-западной стороне Бухта Благополучия (тоня Кремлевская), участки удобные для ловов в мелких губах у островов Заяцких, Песей. Бабьей и Сенных луд.

На северо-восточной Еремеева губа, участки вокруг островов Большая и Малая Муксалма

На юго-восточной оконечности тоня Березовая.

На острове Анзер наиболее ловистые участки в северной части губы Троицкая и Кирилова, в южной Капельская губа.

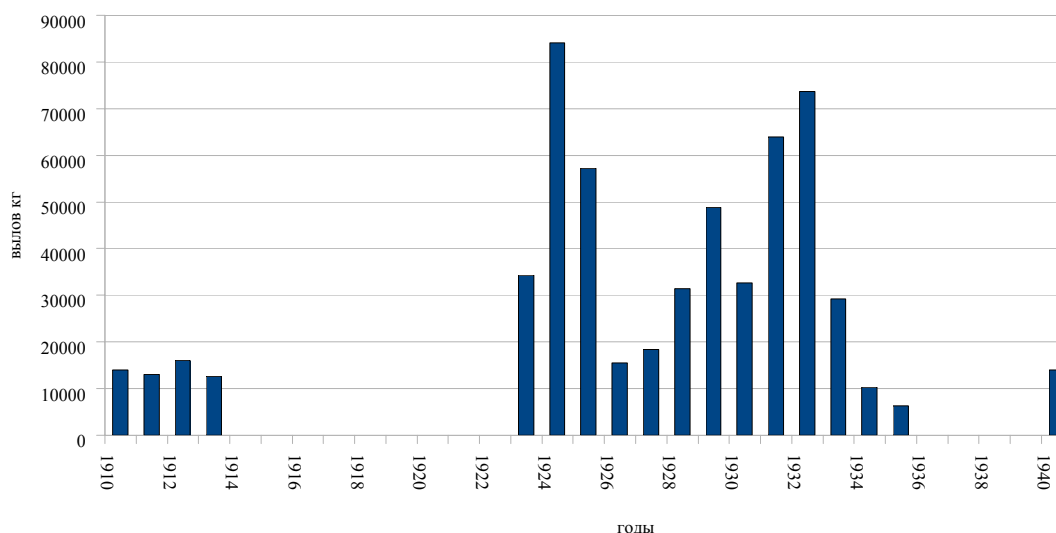
В начале XX века вылов сельди на тоня Соловецкого архипелага в оценивался 12–16 тонн. Этого количества по видимому оказывалось вполне достаточно для обеспечения потребностей насельников монастыря, трудников и паломников. Именно на такое количество были рассчитаны перерабатывающие и складские мощности и даже при больших подходах, вылов прекращался. Можно сделать вывод, что при таком режиме промысла был интуитивно найден оптимально возможный вылов не наносящий ущерба популяции.

После революции острова переходили из рук в руки и к лету 1923 г. они оказались в руках Архгубземотдела и именовались «Совхоз Соловки». Наибольшее промысловое усилие на Соловках было развито в двадцатые-тридцатые годы. Это связано с созданием на архипелаге Соловецкого лагеря особого назначения (СЛОН). Огромное скопление людей, оказавшихся на островах, высветило проблему их продовольственного обеспечения. Паяк заключенных был крайне скудным. Море богато продовольствием, но его надо уметь добывать. В СЛОНе стали заниматься традиционными поморскими промыслами – рыболовством, зверобойкой, которые приносили доходы и помогали кормить людей. Состояние промыслов к моменту приема «Совхоза Соловки» Управлением СЛОН в 1924 г характеризовалось следующим образом: «Имущества, годного для промыслов, оказалось мало. Орудия лова использованы донельзя, жилые здания на тонях и ледники, много лет не видевшие ремонта, потеряли ценность на 50% и больше, дороги к тоням испорчены до невозможности». Однако именно в 1924 году зарегистрирован наибольший за все время вылов сельди – 84 тонны. Это можно объяснить одним из самых мощных подходов сельди к берегам Соловков и отсутствием всякого ограничения промысла.

В тридцатые годы, по материалам Р.А. Шептицкого, на Соловках действовало до 12 ловецких пунктов, которые имели 12 – ставных неводов, 9 – тягловых неводов, 6 – плавных порядков, 7 – за-вес. Обслуживали все это хозяйство 240 рыбаков. Среднегодовой улов сельди за 13 лет – 38915 кг.

После вывода в 1939 году репрессивных учреждений с Соловецкого архипелага тони с рыбо-ловным имуществом были переданы Военторгу. Промысловая нагрузка соответственно снизилась и в целом уловы вернулись к стабильному дореволюционному уровню.

Динамика вылова сельди приведена в диаграмме 1



**Рис. 1. Данные о вылове сельди кг на тонях Соловецкого архипелага в разные годы**

Кроме того, у берегов Соловецкого архипелага вылавливались, корюшка, треска, навага, зубатка. пинагор. Общие данные по вылову этих рыб в начале 20-х годов приведен в таблице 1.

*Таблица 1*

**Вылов разной морской рыбы кг (навага, треска, корюшка, прочие)  
на тонях Соловецкого архипелага в 1923–1925 гг.**

год	кг
1923	13921
1924	12310
1925	17273

В тридцатых годах места подходов нерестовой наваги описывались как давно и точно известные, добыча этой рыбы была традиционна. Наважья путина начиналась обычно в конце декабря с установлением прочного ледового покрова и продолжалась по первую декаду февраля. В среднем на лову в сезон было занято 20 рыбаков, использовалось 217 наважьих рюж, Вылов наваги кг на тонях Соловецкого архипелага в 1934–1938 гг. показан в таблице 2.

*Таблица 2*

**Вылов наваги кг на тонях Соловецкого архипелага в 1934-1938 гг.**

год	Вылов кг
1934	1740
1935	6628
1936	5529
1937	3478
1938	5467

В настоящее время на архипелаге практикуется лишь любительское и спортивное рыболовство местным населением и туристами. В летний период имеющие плавсредства местные жители занимаются рыбалкой попутно, основной доход получая от перевозки и обслуживания туристов.

Для лова рыбы употребляют жаберные сети с ячейей от 20 до 40 мм и удочки. Удебный лов трески бывает весьма добычливым. За час рыбаки вылавливали от 10 до 50 кг. Иногда ставят маленькие «камбалы» рюжи. Тягловые невода, ставные невода, и прочие орудия лова требующие коллективной работы не применяются.

Лов морских рыб – трески, зубатки, наваги, сельди, камбал – начинается с мая, после того как море очистится ото льда и продолжается до начала октября, времени начала осенних штормов. Наблюдалась добыча камбалы острогой в ночное время на литорали во время отлива. Так же в мае-июле в сети попадает пинагор. Особенно много его наблюдается в Долгой губе на небольших глубинах у дамбы. Эта рыба так же может добываться и острогой. Зимой морской подлёдный лов наваги и сельди не практикуется.

Тони практически разрушены, сохранились лишь стены вместительных ледников сложенные из валунов. Сохранившиеся и новопостроенные избы в Сосновой губе и в Березовой используются рабочими-заготовителями Архангельского водорослевого комбината и местными жителями.

Мониторинговые работы по изучению состояния и структуры морского прибрежного ихтиоценоза Соловецкого архипелага велись лабораторией морских рыб СевПИНРО в первой половине 2000 гг.

Они преследовали следующие цели: 1 – изучение возможностей и совершенствования промысла традиционных видов рыб – сельди, трески, наваги, зубатки; 2 – оценка численности стада беломорской сельди; 3- сбор биологических материалов по размерно-возрастному и половому составу, питанию и пищевым связям изучаемых популяций рыб;

Лов рыбы производился жаберными сетями с ячейей 22–60 мм длиной по 25 метров и высотой от 4 до 6 метров. Обычно выставлялось два порядка, по шесть сетей в каждом. Время сетепоставок 12–16 часов.

Контрольные сетепоставки производились в губах Троицкая (о. Анзерский), Долгая (о. Соловецкий) у мысов Березовый, Толстик, в проливе между островами Б. Заяцким и М. Заяцким, у островов Песья луда и Бабя луда, а также в мелких губах с юго-западной стороны Большого Соловецкого острова.

Ихтиофауна исследуемого района представлена следующими видами рыб: беломорская сельдь (*Clupea pallasii n.maris-albi*), в том числе её эндемичная форма соловецкая беломорская сельдь; беломорская треска (*Gadus morhua n.maris-albi*); навага (*Eleginus navaga*); корюшка (*Osmerus mordax*); камбала полярная и камбала речная (*Liopsetta glacialis Plotichthys flesus*); пинагор (*Cyclopterus lumpus*); зубатка (*Anarchichas lupus*); колюшки (*Pangitius pangitius Gasterosteus aculeatus*); песчанка (*Ammodytes hexapterus*); бычки, в основном бычок керчак (*Myoxocephalus scorpius*; etc).

Уловы составляли от 3 до 10 кг на сетной порядок.

При постановках ставных сетей в губах Глубокая и Сосновая отмечались случаи выедания рыбы из сетей тюленями. Так же в бухте у Переговорного Камня наблюдался случай когда капшак оставил от рыбы попавшей в ставную сеть только скелеты.

В уловах прибрежной зоны Соловков летом доминирует сельдь, наибольший интерес представляет так называемая «Соловецкая» сельдь – разновидность, отличающаяся крупными размерами и весом (до 700 г), ускоренными темпами роста, более продолжительным жизненным циклом, поздними сроками созревания, характеризующаяся хищным типом питания. Следующие по значению виды: треска, навага, зубатка, корюшка, камбала, пинагор. Значение песчанки и колюшки в ихтиофауне рассматриваемого района в том, что они являются значительным кормовым ресурсом для ценных промысловых пород, таких как Соловецкая сельдь и беломорская треска, отмечалось, желудки крупных «соловецких» сельдей часто были набиты песчанкой. Биологические характеристики сельди приведены в таблице 3.

Треска доминировала в уловах в губе Троицкая (о. Анзер) и на траверзе мыса Толстик, (вход в Бухту Благополучия). Биологические характеристики трески приведены в таблице 4.

В уловах в основном отмечались самцы пинагора, что связано со сроками проведения работ (июнь-июль) и биологией вида. Отложив в устроенное на мелководье гнездо икру, самки уходят из прибрежного района, а самцы остаются охранять кладки. По словам местных жителей большое количество нерестового пинагора попадает в сети в конце мая начале июня. По воспоминаниям рыбаков массовый подход пинагора наблюдался в 1976 году, рыбу можно было буквально собирать руками на литорали. Биологические характеристики пинагора добытого во время работ в 2003 году приведены в таблице 5.

Таблица 3

**Средние биологические характеристики сельди из сетных уловов на Соловецком архипелаге в сезоны 2003–2005 гг. по возрастам**

длина АС, см									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2003		20.1	22.4	23.4	24.6	28.5	30.1	27.9	
2004	14.0	25.4	23.9	24.2	24.5	24.3	25.9	25.6	32.0
2005		20.5	23.3	24.7	24.9	25.2	23.4	21.2	32.2
Вес, г									
2003		80,3	115,7	130,4	176,3	265,5	302,3	263,8	
2004	23.6	165.6	139.5	146.5	150.0	145.4	186.6	169.5	354.8
2005		88.9	130.5	160.4	170.9	180.4	169.7	117.4	330.8
Возрастной состав, %									
2003		29.9	34.7	9.0	3.5	8.3	10.4	4.2	
2004	0.5	1.0	24.4	34.8	21.9	11.0	2.5	3.5	0.5
2005		4.6	7.8	36.6	36.0	9.2	4.6	0.7	0.7

Таблица 4

**Средние биологические характеристики трески из сетных уловов на Соловецком архипелаге в сезоны 2003–2005 гг. по возрастам**

длина АВ, см				
	2	3	4	5
2003	23,9	31,9	39,8	44,7
2004	25,8	30,1	40,5	41,9
2005	23,9	34,3	–	45,4
Вес, г				
2003	152,1	398,8	756,2	1025,7
2004	192,2	312,4	824,7	891,5
2005	150,1	48,7	–	956
Возрастной состав, %				
2003	18,9	63,1	15,6	2,5
2004	33,3	33,3	20	13,4
2005	80	17,8	–	2,2

Таблица 5

**Средние биологические характеристики пинагора из сетных уловов на Соловецком архипелаге в сезон 2003г. по возрастам**

лет	длина АВ, см	Вес, г	N , экз	%
Самцы				
3	15,2	123	1	3,6
4	18,5	227,1	11	39,3
5	22,9	429,7	10	35,7
6	22,7	407,5	2	7,1
Самки				
4	30	1070	1	3,6
5	32,2	1079	1	3,6
6	38,3	1986	1	3,6
7	36,3	1765	1	3,6

### Выводы

Возобновление регулярного промысла, применение кроме сетей, ставных, и (или) при массовых подходах тягловых неводов, позволит стабильно вылавливать 10 – 15 тонн сельди и не менее 3 – 4 тонны прочих морских рыб – трески, наваги, зубатки, камбал за сезон, без учета любительской добычи. Появится возможность отслеживать динамику и состав уловов, оценивать состояние прибрежной ихтиофауны архипелага.

Наиболее эффективным следует считать установку ставных неводов в четырех традиционных пунктах – Бухта Благополучия, Ново-Сосновая, Березовая, Еремеева. Причем достаточно иметь один тягловый невод который может быть оперативно привезен на тоню где наблюдается массовый подход рыбы.



Можно пожалуй согласиться с тем что еще в 1926 году писал В.П. Доильницын: «Нельзя обойти молчанием, что не каждый год рыба подходит к берегам в массовом количестве, но и при самых худших условиях убытка от соловецких рыболовных промыслов быть не может.»

#### **Литература**

- Андрияшев А.П., 1954. Рыбы северных морей СССР / Л. Издательство АН СССР. 210–380 с.
- Гончаров Ю.В. 2005. Результаты исследования пинагора Белого моря в 2003 году. // В.кн. Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоёмов европейского Севера. Сборник материалов VI (XXVII) международной конференции. Ч.1. С.106–108.
- Дроздов В.Г., 1948. .Состояние запасов и пути развития промысла рыб и морского зверя на о-вах Соловецкого архипелага: Отчет Зав. Лабораторией отдела добычи ПИНРО
- Доильницын.В.П., 1926. Лов рыбы и зверя на Соловках //3 янв. газета «Новые Соловки».
- Ключевский В.О., 1912. Опыты и исследования. Первый сборник статей. М. 1–36 с.
- Филин П.А., 2002. «Варзужская служба» Соловецкого монастыря в XVII–XVIII веках по документам Российского Государственного Архива древних актов //Массовые источники истории и культуры России XVI–XX вв.: Мат. XII Всерос. конф. «Писцовые книги и другие массовые источники истории и культуры России XVI–XX вв.: Проблемы изучения и издания», посв. памяти В.В. Крестинина, Архангельск, 19–23 июня 2001 г. /Отв. ред. Г. В. Демчук., Архангельск. 328–334 с.
- Фукс Г.В., Гончаров Ю.В., 2005. Перспективы использования второстепенных видов рыб в прибрежном рыболовстве Белого моря // Материалы IV совещания международного контактного форума по сохранению местообитаний в Баренцевом регионе. Сыктывкар. С 42–43.
- Шевелев М.С. 2001. Методические рекомендации по сбору биологической информации в морях Северо-Европейского бассейна и Северной Атлантики. Мурманск, издательство ПИНРО. 146 с.
- Шептицкий Р.А. 1936. Материалы по вопросу о состоянии сельдяного промысла Соловецкого архипелага. Отчет з/к инженера-технолога рыбхоза Соловецкой тюрьмы.
- Шептицкий Р.А. 1938. Промысел наваги у берегов Соловецкого архипелага по данным 1933–1934–1937–1938 гг. Отчет з/к инженера-технолога рыбхоза Соловецкой тюрьмы.

### **THE COASTAL FISHERIES SOLOVKI ISLANDS, HISTORY, CURRENT STATUS AND POTENTIAL**

**Y. Goncharov**

Northern branch Polar Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography Arkhangelsk, Russia  
e-mail: rik@sevpinro.ru

The Solovetskie islands have unique geographical location at the border of the Onegsky bay, the Dvinsky bay and the Basin of the White Sea. Migratory ways of main commercial fish species – herring, cod, navaga and smelt go through the offshore water of islands.

This article includes data of commercial exploitation of these species and biological characteristics of fish. In the article we discuss the history, current status and potential of the coastal fishery. This material will be interesting for researchers in the biology, ichthyology and fishery.

### **СОСТОЯНИЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ И СООБЩЕСТВ ФИТОПЛАНКТОНА ОЗЕРА БОЛОГОЕ В УСЛОВИЯХ СЕЛИТЕБНОГО И ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

**И.Л. Григорьева, А.Б. Комиссаров**

Иваньковская НИС Учреждения Российской академии наук  
Института водных проблем РАН, г. Конаково  
e-mail: Irina\_Grigorieva@list.ru

#### **Введение**

Целью наших исследований было изучение качества воды и сообществ фитопланктона озера Бологое, которое находится в черте г. Бологое Тверской области и испытывает антропогенный пресс от стоков с селитебной территории и сбросов сточных вод, от расположенных на его берегах,

военной части и Бологовского аграрного колледжа. Общий объем сточных вод, поступающих в озеро, составляет около 300 тыс. куб. м в год.

Озеро принадлежит бассейну реки Коломенка (впадает в озеро Кафтино). Сток осуществляется посредством реки Нефтянка, исток которой находится в черте города Бологое (рис. 1). Площадь озера составляет 7,87 км<sup>2</sup>, длина – 7,5 км, максимальная ширина – 3 км (средняя – 1,05 км), максимальная глубина – 4,35 м (средняя – 3 м), длина береговой линии 28,2 км, высота над уровнем моря – 172,2 м БС.

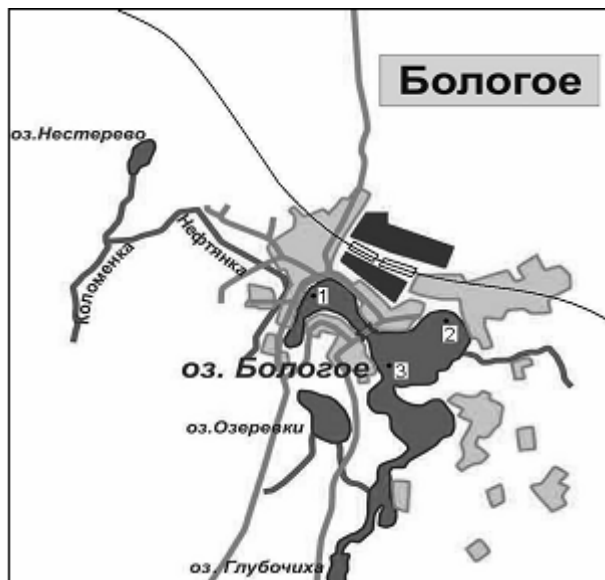


Рис. 1. Схема озера Бологое с точками пробоотбора

Происхождение озера ложбинное. Берега возвышенные, суходольные, местами низменные, на юге заболочены. Доступно почти всё побережье, на южном берегу низинное болото с растительностью.

### Материалы и методы

Пробы воды на химический анализ отбирались в 2008 г. в различные сезоны года (январь, апрель, август, октябрь) и в 2009 г. (март) в трех точках (рис. 1) с берега, с поверхностного горизонта.

В пробах воды определялись следующие показатели: рН, электропроводимость стандартная, растворенный в воде кислород, БПК<sub>5</sub>, ХПК, цветность, щёлочность общая, жёсткость общая, гидрокарбонаты, кальций, магний, сульфаты, хлориды, натрий, калий, кремний, железо общее, марганец, фосфор минеральный, фосфор общий, аммонийный ион, нитрат-ион, нитрит-ион, цинк, кадмий, свинец, медь.

Альгологические пробы в озере Бологое отбирались в апреле и октябре 2008 г. и в марте 2009 г. по стандартным методикам в тех же точках наблюдений.

### Результаты и обсуждение

Исследования показали, что по химическому составу озеро относится к гидрокарбонатному классу кальциевой группы с умеренной жёсткостью воды (жёсткость за период наблюдений изменялась от 2,3 до 2,85 мг-экв/дм<sup>3</sup>), по степени минерализации – к категории пресных вод (минерализация воды изменялась незначительно – от 0,22 до 0,26 г/дм<sup>3</sup>).

Вода озера отличается низкой цветностью (не выше 30 градусов платино-кобальтовой шкалы цветности) и невысокими значениями перманганатной окисляемости (9,4 – 13 мгО/дм<sup>3</sup>).

Значения БПК<sub>5</sub> (диапазон изменения: 2,4 – 3,6 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>) и ХПК (диапазон изменения: 29,5 – 41,2 мгО/дм<sup>3</sup>) довольно высоки, что является свидетельством повышенной органической нагрузки на водоем.

Концентрации сульфатов варьируют в диапазоне от 9,6 до 22,2 мг/дм<sup>3</sup>, а хлоридов – от 11 до 12,3 мг/дм<sup>3</sup>, что выше фоновых значений. Концентрации натрия и калия также выше фоновых значений и в зимний период достигают соответственно 7 и 13,3 мг/дм<sup>3</sup>.

Концентрации железа общего не превышали 1–1,5 ПДК для рыбохозяйственных водоемов, а марганца 16 ПДК.

Высоки концентрации иона аммония (до 1,4 мг/дм<sup>3</sup>) и нитрат иона (до 2 мг/дм<sup>3</sup>).

Содержание тяжёлых металлов (цинк, кадмий, свинец, медь и никель) отмечалось не всегда и их концентрации находились в пределах ПДК<sub>рыб.-хоз.</sub>

Всего было встречено 140 таксонов водорослей рангом ниже рода. По разнообразию выделялись зелёные водоросли – 70 таксонов, диатомовые представлены 24 таксонами, синезелёные – 18, эвгленовые – 15, менее разнообразны золотистые водоросли – 8 таксонов, криптофитовые – 6 таксонов, жёлтозелёные – 5 таксонов.

В целом альгофлора озера представлена 33 семействами, 17 порядками и 13 классами (таблица 1). Ведущими по видовому разнообразию являются семейства Scenedesmaceae (22 таксона), Euglenaceae (15 таксонов) и Chlorellaceae (13 таксонов).

Таблица 1

#### Альгофлора озера Бологое

Отдел	Классов	Порядков	Семейств
CHLOROPHYTA	4	4	14
BACILLARIOPHYTA	2	5	8
CYANOPHYTA	2	3	5
EUGLENOPHYTA	1	1	1
CHRYSTOPHYTA	1	1	1
CRYPTOPHYTA	1	1	1
XANTHOPHYTA	2	2	3

Численность фитопланктона изменялась в целом от 578'000 (зимний период) до 155'676'000 (летняя межень) кл/дм<sup>3</sup>.

В апреле 2008 г. (весенний фитопланктон) был обнаружен 61 таксон водорослей: зелёные – 24 таксона, диатомовые – 14 таксонов, синезелёные – 10, эвгленовые – 6, золотистые – 4, жёлтозелёные – 2 и криптофитовые – 1. Численность фитопланктона составляла в среднем 13'616'000 кл/дм<sup>3</sup>. Основу альгофлоры формировали *Microcystis pulverea* (18,9 %), *Synedra acus* var. *angustissima* (10,8 %) и *Microcystis aeruginosa* (9 %).

По отделам численность фитопланктона распределялась следующим образом (в процентах, в порядке убывания):

1. CYANOPHYTA – 43,1 %
2. BACILLARYOPHYTA – 25,8 %
3. CHLOROPHYTA – 22,4 %
4. XANTHOPHYTA – 4,3 %
5. CHRYSTOPHYTA – 3,8 %
6. EUGLENOPHYTA – 0,5 %
7. CRYPTOPHYTA – 0,1 %

В октябре 2008 г. (осенний фитопланктон) было обнаружено 122 таксона водорослей: зелёные – 65 таксонов, диатомовые – 22 таксона, синезелёные – 13, эвгленовые – 9, криптофитовые – 6, жёлтозелёные – 4 и золотистые – 3. Численность фитопланктона составляла в среднем 131'977'500 кл/дм<sup>3</sup>. Основу альгофлоры формировали *Oscillatoria planctonica* (46,7 %), *Microcystis pulverea* (11,8 %), *Lingbia limnetica* (8 %), *Oscillatoria limnetica* (5,2 %) и *Microcystis incerta* (5 %).

По отделам численность фитопланктона распределялась следующим образом (в процентах, в порядке убывания):

1. CYANOPHYTA – 82,7 %
2. CHLOROPHYTA – 10,6 %
3. BACILLARYOPHYTA – 5,8 %
4. XANTHOPHYTA – 0,4 %
5. CRYPTOPHYTA – 0,3 %
6. EUGLENOPHYTA – 0,15 %
7. CHRYSTOPHYTA – 0,05 %

В марте 2009 г. (зимний фитопланктон) было обнаружено 53 таксона водорослей: зелёных – 16, синезелёных – 12, диатомовых – 9, эвгленовых – 6, криптофитовых и золотистых – по 5 таксонов. Численность фитопланктона составляла в среднем 743'000 кл/дм<sup>3</sup>. Основу альгофлоры формировали *Oscillatoria planctonica* (22,1 %), *Microcystis wesenbergii* (13,4 %), *Dinobryon divergens* (10,2 %) и *Asterionella formosa* (10 %). По отделам численность фитопланктона распределялась следующим образом (в процентах, в порядке убывания):

1. CHLOROPHYTA – 38,4 %
2. CYANOPHYTA – 29,3 %
3. CHRYSOPHYTA – 13,3 %
4. BACILLARYOPHYTA – 11,6 %
5. CRYPTOPHYTA – 6,0 %
6. EUGLENOPHYTA – 1,4 %

Таблица 2

Распределение таксонов по зонам сапробности, %

Зона сапробности	$\alpha$	$\alpha - \beta$	$\beta - \alpha$	$\alpha - \beta$	$\beta$	$\beta - \alpha$	$\beta - \alpha$	$\alpha$
%	6	8	8	8	21	4	2	2

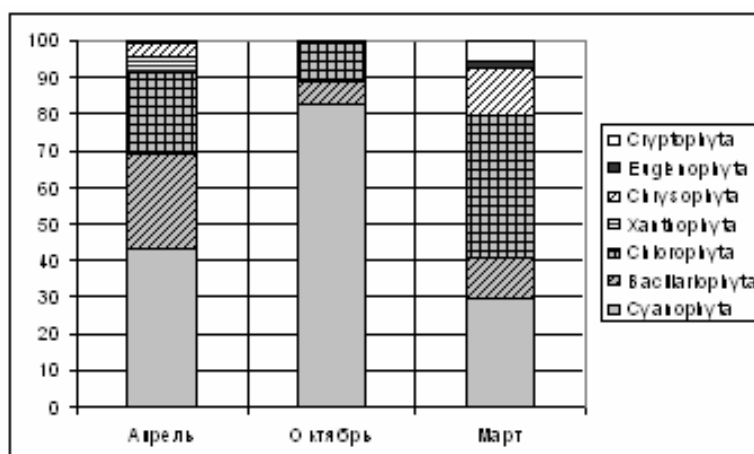


Рис. 1. Распределение численности фитопланктона по отделам

### Выводы

Селитебное и промышленное загрязнение озера Бологое определяют высокую органическую и биогенную нагрузку на озеро Бологое и повышенные, по сравнению с фоновыми значениями, концентрации сульфатов, хлоридов, натрия и калия.

В целом в альгофлоре озера преобладают космополитные виды (77 %). Большинство – это планктонные организмы (70 %), на втором месте – обитатели литорали (14 %). По отношению к солёности воды преобладают индифференты (58 %). По отношению к pH также преобладают индифференты (19 %), на втором месте – алкалифилы+алкалибионты (14 %). По отношению к степени органического загрязнения альгофлора озера на 21 % сформирована  $\beta$ -мезосапробами (таблица 2).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 07-05-6414)

## CONDITION OF WATER QUALITY AND PHYTOPLANKTON COMMUNITY OF THE BOLOGOE LAKE UNDER THE URBAN AND INDUSTRIAL POLLUTANT

I. Grigorieva, A. Komissarov

Ivan'kovskaya research station of the Institute for Water's Problems, the Russian Academy of Science, Konakovo, Tver reg., Russia  
e-mail: Irina\_Grigorieva@list.ru

Hydrochemical condition and phytoplankton status of the Bologoe lake (Tver region, about 300 km from Moscow to north) was organized.

The lake is exposed to anthropogenic press from Bologoe town's territory flow (downpour flow, thaw snow, kitchen garden's flow and others) and overflow of effluent (from military office and agrarian college of Bologoe town).

This pollution is determine high organic loading to lake's ecosystem, that contribute high content of ammonium, nitrite, sulphate, chloride, potassium and sodium and also intensive develop of Cyanophyta during the all year (predominate species from Oscillatoria and Microcystis genus).

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ АЛЬГОЦЕНОЗОВ ОЗЕРА КРИВОГО (ББС ЗИН РАН)

Ю.И. Губелит, В.Н. Никулина

Учреждение Российской академии наук Зоологический институт РАН,  
г. Санкт-Петербург, Россия  
e-mail: veranik@zin.ru

Озеро Кривое расположено в Северной Карелии, в бассейне Чупинской губы Кандалакшского залива Белого моря, 30 км южнее Полярного круга. Оно образовалось на месте постепенно опреснившегося залива моря. Уровень озера приблизительно на 6 м выше уровня моря. Площадь озера около 0.5 км<sup>2</sup>, длина 1800 м, ширина 450м, водосборная площадь 2.1 км<sup>2</sup> (Биологическая продуктивность..., 1975).

Экосистема озера изучалась ранее в 1968–69 гг. и через 30 лет, с 2002 по 2008 год, работы были продолжены. Данные по видовому составу и количественному развитию фитопланктона имеются как за первый (Никулина, 1975), так и за второй период исследований. Водоросли перифитона озера Кривого стали изучаться впервые с 2003 года.

### Материал и методы

Фитопланктон в озере Кривом изучался в вегетационный период с конца мая по октябрь. Обработка проб проводилась в осадочных камерах объемом 10–25 мл с использованием инвертированного микроскопа Hydro-Bios. Пробы перифитона отбирались в июле и сентябре с 2003 по 2006 гг. с каменистого и растительного (тростник, осока) субстратов на глубине 0.5 м, а также в июле по вертикали с глубин от 0.5 до 5 м с помощью водолаза. Подсчет и определение водорослей обрастаний производились в камере Нажотта объемом 0,02 мл, используя микроскоп БИМАМ. Биомассу рассчитывали по суммарному объему клеток водорослей, принимая, что 10<sup>9</sup> мкм<sup>3</sup> соответствует 1 мг сырой биомассы водорослей. К доминирующим видам отнесены виды, численность и/или биомасса которых превышали 10% общей.

### Результаты и обсуждение

В фитопланктоне обнаружено более 100 видов водорослей, относящихся к 6 отделам. Постоянными и наиболее многочисленными представителями были виды, приведенные в табл.1. Как можно видеть, по численности преобладали как в первый период исследований, так и во второй цианобактерии. Большинство представителей цианобактерий в оз. Кривом отличаются малыми размерами клеток, поэтому их роль в общей биомассе фитопланктона невелика. Новым и постоянным представителем цианобактерий, преобладающим в раннелетний и осенний периоды был вид *Oscillatoria irrigua*, за счет которого в основном и формировалось 10–19% общей биомассы.

Наиболее характерными видами, формирующими основную долю биомассы фитопланктона северного олиготрофного озера в течение всего вегетационного сезона, были золотистые и криптофитовые водоросли (рис.1).

Chrysophyta были представлены теми же видами, что и в 1960-е годы, тогда как почти все виды водорослей из отдела Struthophyta во второй период исследований оказались новой группой для фитопланктона оз.Кривого.

В перифитоне озера Кривого было обнаружено 92 вида водорослей из 6 отделов, из них доминировали виды из отделов Bacillariophyta, Chlorophyta, Cyanophyta (табл.2).

Таблица 1

Доминирующие виды водорослей планктона оз. Кривого (макс. численность, тыс.кл/л)

Виды водорослей	1968–1969 гг.	2002–2006 г.
<b>Сyanophyta</b>		
<i>Anabaena lemmermannii</i>	51	175
<i>Coelosphaerium kuetzingianum</i>	240	7095
<i>Dactylococcopsis acicularis</i>	16	28
<i>Gloeocapsa turgida</i> + <i>G.limnetica</i> + <i>G.minor</i>	59	924
<i>Microcystis pulverea</i>	900	18705
<i>Oscillatoria irrigua</i>	-	329
<i>Synechococcus aeruginosus</i>	5	1540
<b>Chrysophyta</b>		
<i>Dinobryon divergens</i> + <i>D.bavaricum</i>	390	310
<i>Uroglenopsis americana</i>	114	300
<i>Chrysococcus klebsianus</i>	10	19
<b>Bacillariophyta</b>		
<i>Asterionella formosa</i>	17.6	13.6
<i>Aulacosira islandica</i>	28	0.2
<i>Cyclotella kuetzingiana</i>	29	0.3
<i>Rhizosolenia longiseta</i>	39.4	15.4
<b>Dynophyta</b>		
<i>Ceratium hirundinella</i>	4.8	0.4
<i>Peridinium aciculiferum</i>	3.2	6.5
<b>Cryptophyta</b>		
<i>Cryptomonas marssonii</i> + <i>C. obovata</i> + <i>C.ovata</i>	единично	39.8
<i>Chroomonas caudata</i>	-	312
<b>Chlorophyta</b>		
<i>Botryococcus braunii</i>	10.7	13.6
<i>Sphaerocystis Schroeteri</i>	54.4	18.1

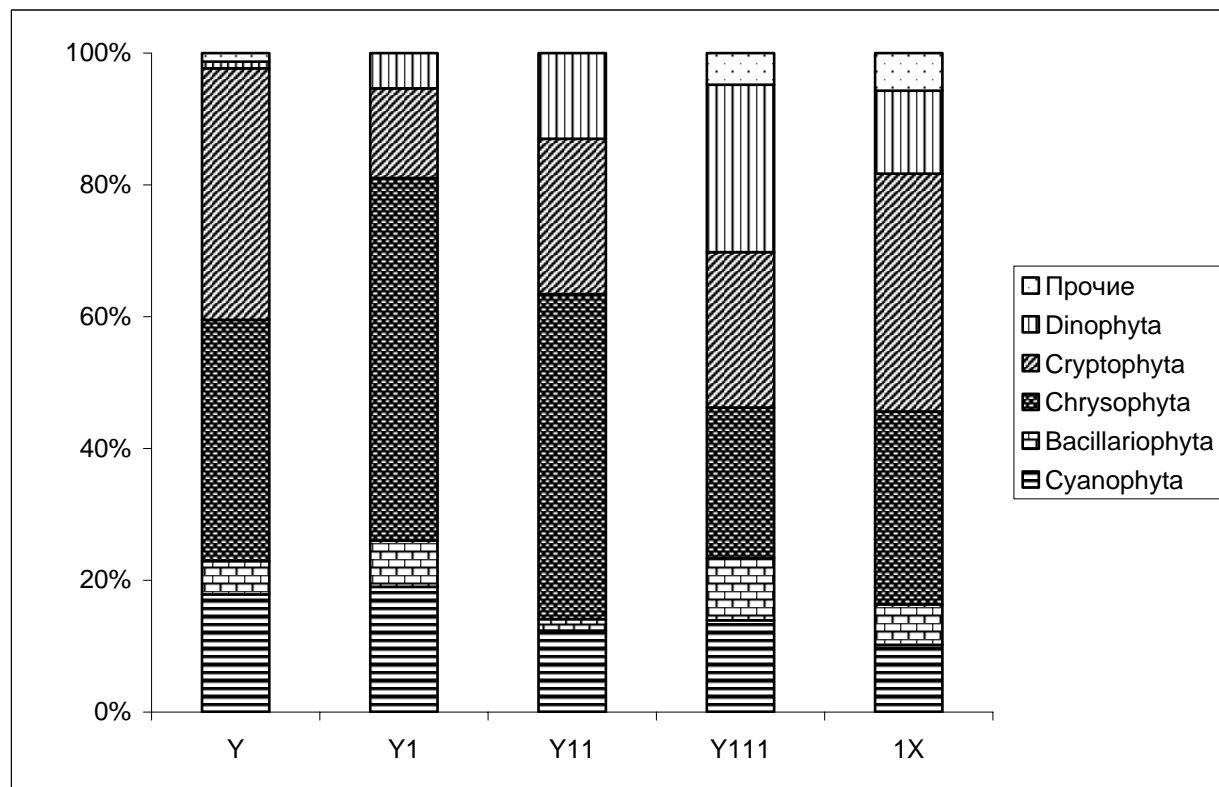


Рис. 1 Относительное значение основных систематических групп водорослей в общей биомассе фитопланктона

## Доминирующие виды водорослей перифитона оз. Кривого

Bacillariophyta	Chlorophyta	Cyanophyta
<i>Achnanthes brevipes</i>	<i>Bulbochaete</i> sp.	<i>Aphanothece microscopica</i>
<i>Amphora</i> sp.	<i>Chaetophora elegans</i>	<i>Gloeocapsa minuta</i>
<i>Diatoma elongatum</i>	<i>Coleochaete pulvinata</i>	<i>Microchaete tenera</i>
<i>Tabellaria fenestrata</i>	<i>Cosmarium obtusatum</i>	<i>Scytonema subtile</i>
	<i>Mougeotia</i> sp.	<i>Rivularia coadunata</i>
	<i>Oedogonium</i> sp.	<i>Tolypothrix distorta</i>
	<i>Rhizoclonium</i> sp.	<i>Tolypothrix elenkinii</i>
	<i>Spirogyra</i> sp.	
	<i>Ulothrix zonata</i>	

На глубине 0.5 м состав доминирующих видов из отдела диатомовых был практически неизменным на всех субстратах и почти не менялся в течение сезона. Исключение составил вид диатомовых водорослей *Diatoma elongatum*, который в июле присутствовал как в планктоне, так и в перифитоне, а в сентябре выпал из доминирующего комплекса.

Из зеленых водорослей на каменистом субстрате в июле доминировали два вида *Bulbochaete* sp. и *Coleochaete pulvinata*. В августе произошли частичные изменения и на смену доминанта *C. pulvinata* пришли *Chaetophora elegans* и *Rhizoclonium* sp. На растительном субстрате в июле доминировали *Mougeotia* sp. и *Spirogyra* sp., осенью к ним прибавились еще 4 вида: *Bulbochaete* sp., *C. pulvinata*, *Cosmarium obtusatum* и *Oedogonium* sp.

Цианобактерии были в составе доминирующего комплекса только на каменистом субстрате. Летом доминирующими видами были *Aphanothece microscopica*, *Gloeocapsa minuta*, *Scytonema subtile*, *Rivularia coadunata*, *Tolypothrix distorta*, *T. elenkinii*. Осенью в доминирующем комплексе остались только виды *S. subtile*, *T. distorta*, *T. elenkinii*.

На различных глубинах состав основных видов также изменялся. Как было указано выше, пробы с камней на глубинах до 5 м отбирались только в июле. Из зеленых водорослей на глубине 0.5, как указано выше, доминировали 2 вида, *Bulbochaete* sp. и *Coleochaete pulvinata*, но на глубине 1 м уже наблюдалась смена на *Oedogonium* sp. и *Ulothrix zonata*. На глубине 1.5 м среди доминантов появилась *Mougeotia* sp. и на глубине 2 м зеленые водоросли в доминирующем комплексе, практически, не отмечены.

Количество видов цианобактерий с глубиной значительно снижалось, так на 0.5 м было обнаружено 6 доминирующих видов цианобактерий, на глубине 1 м остались *A. microscopica*, *G. minuta*, *T. distorta* и *T. Elenkinii*, а на 3 м был только один доминирующий вид – *Microchaete tenera*. На 5 м, цианобактерии, в доминирующий комплекс не входили.

Биомасса фитоперифитона на всех субстратах к сентябрю возрастала. На растительном субстрате она увеличивалась от  $1.7 \pm 0.3$  до  $13.6 \pm 6$  г сырого веса/м<sup>2</sup> субстрата, на камнях – с  $54 \pm 6.3$  до  $135 \pm 9.6$  г/м<sup>2</sup>. Доля водорослей, относящихся к различным отделам, в общей биомассе менялась. На каменистом субстрате в июле доля диатомовых и цианобактерий составила 49 и 44%, соответственно. Доля зеленых водорослей составила 7 %. Осенью доля диатомовых водорослей уменьшилась до 19%, зеленых возросла до 31%, а цианобактерий – до 50%.

На растительном субстрате в июле вклад диатомовых водорослей в общую биомассу мог достигать 65% на тростнике и 80% на осоке, в то время как доля зеленых была 15% на осоке и 18% на тростнике, а цианобактерий -2% на тростнике и 5% на осоке. Также на тростнике существенный вклад в биомассу (4% в июле и 24% в сентябре) вносили динофитовые. Осенью доля диатомовых снижалась до 40% на тростнике и до 10% на осоке, в то же время значительно вырос вклад зеленых водорослей (до 21% на тростнике и до 87% на осоке). Что касается цианобактерий, то их доля в общей биомассе увеличилась на тростнике до 13%, и уменьшилась на осоке до 1%.

Биомасса фитоперифитона на каменистом субстрате уменьшалась с глубиной (рис. 2). Средняя биомасса фитоперифитона на каменистом субстрате в июле на глубинах от 0 до 5 м составила  $33,5 \pm 6,5$  г/м<sup>2</sup> субстрата.

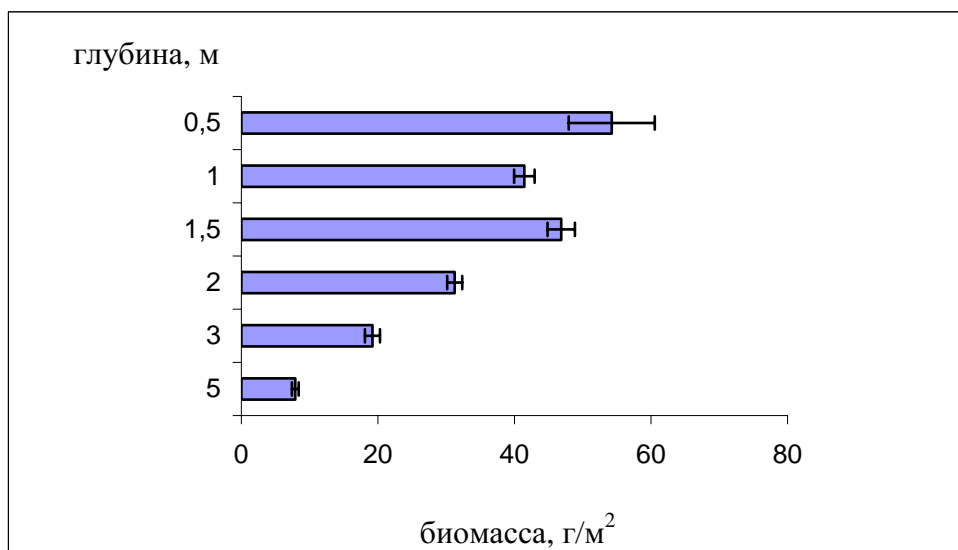


Рис. 2. Средняя биомасса фитоперифитона озера Кривого на разных глубинах.

Процентное соотношение водорослей доминирующих отделов в общей биомассе на разных глубинах тоже было различным (рис.3). Так, доля зеленых водорослей в биомассе была максимальной на глубине 1 м (48% от общей), на глубинах 2 – 3 м она составила около 5%, а на глубине 5 м – только 3% от общей.

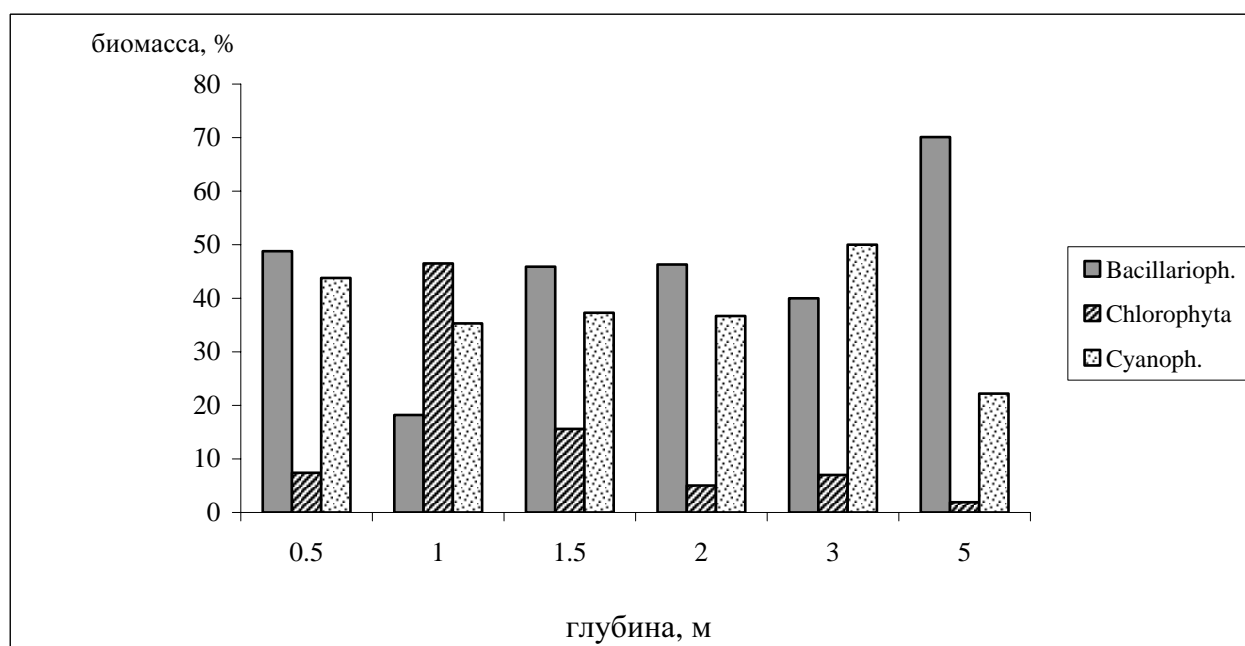


Рис.. 3 . Соотношение между доминирующими отделами водорослей по глубинам.

Доля диатомовых водорослей на глубинах от 0 до 3 м оставалась стабильной (около 50% от общей) и значительно, до 70%, возрастала на глубине 5 м. Что касается вклада цианобактерий, то вплоть до глубины 5 м он стабильно оставался на уровне 40–50 %, а на глубине 5 м уменьшался до 22%.

Таким образом, видовой состав фитопланктона и его обилие за прошедший 30 летний период несколько изменились. Появились виды, ранее не отмечавшиеся в планктоне, доля которых в общей биомассе фитопланктона в настоящее время доходит до 50%.



Фитоперифитон в озере представлен достаточно разнообразно, при этом отмечены различия в видовом составе на каменистом и растительном субстратах. Количественное развитие водорослей с глубиной отчетливо понижается.

Работа была поддержана Российским Фондом Фундаментальных Исследований, грант 08-04-00101.

Авторы выражают благодарность за помощь в отборе проб водолазным методом сотруднику ЗИН РАН к.б.н. Сухотину А.А.

#### Литература

Биологическая продуктивность северных озер. 1975. Тр. Зоол. Ин-та. Т.LVI. / Ред. Г. Г. Винберг Л. Наука. 228с.

Никулина В. Н., 1975 Фитопланктон // Биологическая продуктивность северных озер, ч. 1, Л.: Наука, С.42-54.

### ALGAL COMMUNITY OF KRIVOYE LAKE (NORTHERN KARELIA) AT PRESENT TIME

Y.I. Gubelit, V.N. Nikulina

Zoological Institute of the RAS, St. Petersburg, Russia

e-mail: gubelit@list.ru

Krivoeye lake is situated in northern Karelia in the basin of the White Sea.

First studies of phytoplankton algal community was conducted in 1968. From 2002 to 2008 the studies was continued and focuses on phytoplankton and microphytobenthic communities.

During our study more then 100 species of algae was founded. Our study showed that species composition of phytoplankton changed during last 30 years. Cyanobacterias, Chrysophyta and Cryptophyta contributed significantly to total biomass of phytoplankton. New species (*Oscillatoria irrigua*, all species of *Cryptophyta*) appeared in community.

Microbenthic algae was studied on stony substrate and macrophytes (*Phragmites australis*, *Carex* sp). In microphytobenthos on stony substrate Cyanobacterias, Bacillariophyta and Chlorophyta was dominated groups. Composition of dominating species and total biomass of algae decreased with increasing of the depth.

On macrophytes the diatoms prevailed during all season and distribution of green algae increased in autumn to 21% from total biomass on *Phragmites australis* and to 87% on *Carex* sp.

### ИЗМЕНЕНИЕ УРОВНЯ СОДЕРЖАНИЯ БТШ70 В КЛЕТКАХ ПРЕСНОВОДНЫХ И ЭВРИГАЛИННЫХ ИНФУЗОРИЙ И АМЕБ ПРИ ИХ АДАПТАЦИИ К ИЗМЕНЕНИЮ СОЛЕНОСТИ СРЕДЫ

А. В. Гудков<sup>1</sup>, А. О. Смуров<sup>2,3</sup>, Ю. И. Подлипаева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Учреждение Российской академии наук Институт цитологии РАН,

г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Учреждение Российской академии наук Зоологический институт РАН,

г. Санкт-Петербург,

<sup>3</sup> Биолого-почвенный факультет С.-Петербургского государственного университета

e-mail: pelgood@rambler.ru

#### Введение

Известно, что клетки всех живых организмов в ответ на действие стрессовых факторов реагируют синтезом так называемых белков теплового шока (БТШ) (Feder, Hofmann, 1999). Эти белки способствуют адаптации организмов и их клеток к неблагоприятным воздействиям. Наиболее изученными являются БТШ с молекулярной массой 70 кДа (БТШ70), обладающие весьма низкой видоспецифичностью (Маргулис, Гужова, 2000, 2009).

Одним из современных направлений в исследовании БТШ является изучение их роли в процессе приспособления организмов к влиянию естественных и антропогенных факторов среды с це-

люю понять механизмы, лежащие в основе адаптации живых систем к стрессовым воздействиям (Feder, Hofmann, 1999; Евгеньев и др., 2005; Garbuz et al., 2008). В большинстве этих работ в качестве стрессового воздействия используется температура, а объектами исследований служат либо многоклеточные животные, либо прокариотные микроорганизмы. Значительно меньше внимания уделяется БТШ свободноживущих одноклеточных организмов. В подавляющем большинстве случаев функции БТШ70 у простейших изучаются в связи с их адаптацией к изменениям температуры окружающей среды (McMullin, Hallberg, 1987; Kalinina et al., 1988; Joshi et al., 1992; Requena et al., 1992; Wallace et al., 1992; Field et al., 2000; Perez-Serrano et al., 2000; и др.). Однако логично предполагать также участие БТШ70 и в адаптации клеток к изменению солености водной среды, в которой они обитают, так как соленость, наряду с температурой, является одним из двух главных факторов эволюции гидробионтов.

Целью настоящего исследования было изучение особенностей динамики содержания БТШ70 в ответ на изменение солености среды у представителей далеко отстоящих друг от друга в эволюционном отношении таксонов низших эукариот: инфузорий и амёб.

Для исследования реакции шаперонной системы были выбраны виды, относящиеся к разным экологическим группам, различающимся по способности организмов адаптироваться к изменению солености среды (см: Smurov, Fokin, 2001): *Amoeba proteus* (группа стенопресноводных видов, способных существовать при соленостях среды до 2.5–3.5 ‰), *Paramecium jenningsi* (группа эупресноводных видов, способных существовать при соленостях среды до 6–8 ‰), и *Paramecium nephridiatum* (группа эвригалинных организмов, способных существовать как в пресной, так и в полносолевой морской воде 35 ‰).

### Материал и методы

В работе использованы свободноживущие лобозные амёбы *Amoeba proteus* (штамм Val) из коллекции Лаборатории цитологии одноклеточных организмов Института цитологии РАН, инфузории *Paramecium jenningsi* (штамм SR1-10) и *P. nephridiatum* (штамм SR98-1) из коллекции культур Лаборатории зоологии беспозвоночных БиНИИ СПбГУ. Культивирование простейших осуществляли по стандартным методикам: инфузорий – на салатной среде, инокулированной *Klebsiella aerogenes* (Sonneborn, 1970), амёб – на модифицированном минеральном растворе Прескотта и Кэрриера (Prescott, Carrier, 1964); кормление амёб осуществляли инфузориями *Tetrahymena pyriformis* (штамм GL).

Для проведения соленостного шока клетки *P. jenningsi* и *A. proteus*, выращенные в пресной среде (0 ‰), помещали на 2 часа в среду соленостью 2 ‰. Культуры, акклиматизированные к среде соленостью 2 ‰, помещали в пресную воду и также выдерживали в ней в течение 2 часов. В качестве контроля использовали простейших, культивируемых в средах с исходными для них значениями солености, равные по плотности опытным культурам.

Проведение соленостного шока инфузорий *P. nephridiatum* осуществляли по аналогичной схеме: клетки, акклиматизированные к пресной среде (0 ‰), помещали на 1 ч в воду с соленостью 10 ‰, а клетки, акклиматизированные к солености 10 ‰, помещали на 1 ч в пресную воду (0 ‰) и затем в обоих случаях инфузорий возвращали в среду с первоначальной соленостью. Таких простейших считали подвергнутыми соленостному шоку. В качестве контроля инфузорий помещали в воду с привычной для них соленостью на тот же срок.

В качестве дополнительного контроля для подтверждения принадлежности выявляемых после соленостных шоков полипептидов к БТШ70, клетки *P. jenningsi*, *P. nephridiatum* и *A. proteus*, выращенных как в пресной, так и в соленой среде, подвергали тепловому шоку (37 °C, 1 ч).

Подготовку образцов клеток протистов к проведению SDS-электрофореза производили в соответствии с описанными нами ранее методами (Podlipaeva, 2001). Сразу после окончания электрофореза проводили электроблоттинг (Towbin et al., 1979) при напряжении 60 V. Белок теплового шока выявляли после обработки нитроцеллюлозы моноклональными антителами SPA 822 против БТШ70 (Stressgen technologies, Canada), специфичными как к конститутивной, так и к индуцибельной форме белка теплового шока семейства 70 кДа. Зоны связывания белков с анти-HSP70 антителами окрашивались на нитроцеллюлозе при помощи вторичных биотинированных антител, конъюгированных со щелочной фосфатазой (Sigma Chemical Company) в результате проведения ферментативной реакции. Для определения молекулярной массы выявляемых полипептидов использовали маркеры

молекулярной массы (14–220 кДа) High Range Rainbow Molecular Weight Markers (Amersham Biosciences, England) и бычий сывороточный альбумин (молекулярная масса – 66 кДа).

### Результаты и обсуждение

Методом иммуноблотинга в тотальном белковом экстракте амёб *A. proteus* выявляется полипептидный антиген с молекулярной массой около 84 кДа, перекрестно реагирующий с антителами к БТШ70 крупного рогатого скота (рис. 1). В тотальном белковом экстракте инфузории *P. jenningsi* выявляется полипептидный антиген с той же молекулярной массой, что и у *A. proteus*, который также перекрестно реагирует с антителами к тем же БТШ70.

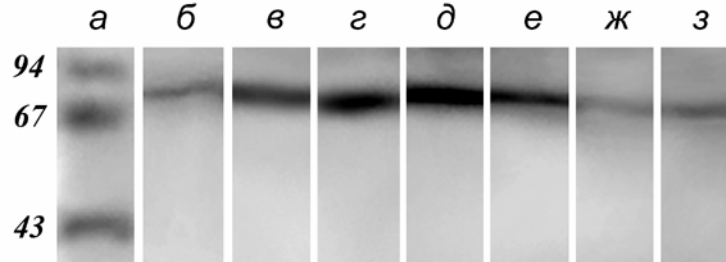


Рис. 1.. БТШ70 в клетках амёб *Amoeba proteus* штамма Val, культивируемых в среде с разной соленостью, подвергнутых соленостному и тепловому шокам. Иммуноблотинг после электрофореза в 13%-ном ПААГ.

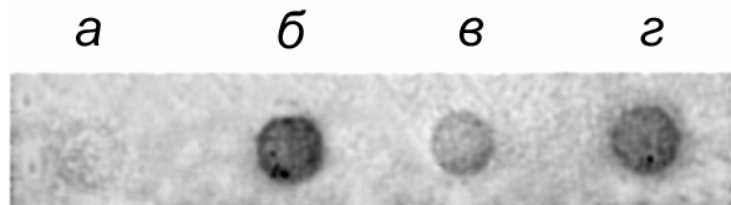
а – маркеры молекулярной массы; б – контрольная культура амёб, 0 ‰; в – амёбы из пресной среды, подвергнутые тепловому шоку (37 °С, 1 ч), через 3 ч после воздействия; г – амёбы из пресной среды, подвергнутые соленостному шоку (2 ‰, 2 ч), через 3 ч после воздействия; д – культура амёб, акклиматизированных к 2 ‰, не подвергавшаяся шоковым воздействиям; е – культура амёб, акклиматизированных к 2 ‰, подвергнутая тепловому шоку (37 °С, 1 ч), сразу после воздействия; ж – культура амёб, акклиматизированных к 2 ‰, подвергнутая тепловому шоку (37 °С, 1 ч), через 3 ч после воздействия; з – культура амёб, акклиматизированных к 2 ‰, подвергнутая соленостному шоку (0 ‰, 2 ч), через 3 ч после воздействия.

При повышении солености среды от 0 до 2 ‰ концентрация обнаруженного нами антигена в клетках амёб спустя 3 ч после воздействия заметно возрастала (рис. 1, г). Амёбы, акклиматизированные к солености 2 ‰, демонстрируют высокий конститутивный уровень обнаруженного нами антигена, больший, чем у клеток, адаптированных к пресной среде (рис. 1, б, д). Повышенное содержание БТШ в солености, близкой к границе толерантного диапазона данного штамма (2.5 ‰), подтверждает повреждающий характер этих условий среды. При дополнительном стрессовом воздействии – перенос клеток, акклиматизированных к этой солености, в пресную среду, а также тепловой шок, – уровень БТШ70 снижается.

Аналогичная картина была нами выявлена у инфузорий *P. jenningsi*. Методом дотблотинга было показано, что уровень БТШ70 незначителен в клетках, выращенных в пресной среде (рис. 2, а), и повышается при соленостном шоке (рис. 2, в). Напротив, инфузории, акклиматизированные к солености 2 ‰, демонстрируют высокий конститутивный уровень БТШ70 (рис. 2, б), который снижается при стрессовом воздействии (соленостном шоке) (рис. 2, г).

Рис. 2. БТШ70 в клетках инфузорий *Paramecium jenningsi* штамма SR1, культивируемых в среде с разной соленостью и подвергнутых соленостным шокам. Иммунохимическая окраска дот-блотов тотального белкового экстракта инфузорий.

а – контрольная культура инфузорий, 0 ‰; б – культура инфузорий, акклиматизированных к 2 ‰; в – соленостный шок 0 → 2 ‰; г – соленостный шок 2 → 0 ‰.



Методом иммуноблотинга в тотальном белковом экстракте инфузорий *P. nephridiatum* выявляется полипептидный антиген с молекулярной массой около 70 кДа – как у интактных (контрольных) клеток после их длительной акклимации к пресной или соленой среде, так и у клеток, подвергнутых соленостному и тепловому шоку (рис. 3). Кроме того, в клетках *P. nephridiatum*, акклиматизированных к солености 10 ‰, обнаруживается дополнительный полипептид с молекулярной массой около 60 кДа, который также перекрестно реагирует с антителами против БТШ70 (рис. 3, в).

Уровень белка 70 кДа после переноса из среды соленостью 10 ‰ в пресную воду (10 → 0 ‰) превышает таковой в контроле (рис. 3, в, з), тогда как зона окрашивания БТШ70 у клеток после переноса из пресной воды в соленую (0 → 10 ‰) выражена слабо и концентрация белка заметно меньше, чем в контроле (рис. 3, б, д).

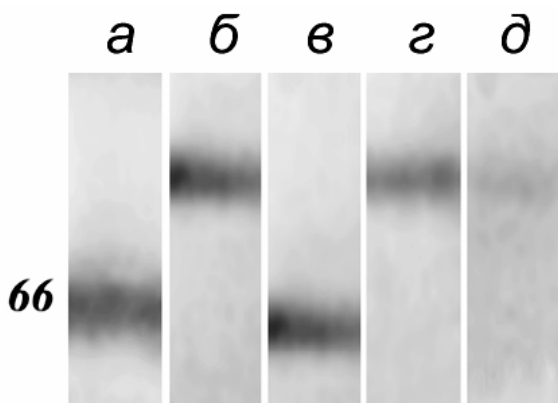


Рис. 3. БТШ70 в клетках инфузорий *Paramecium nephridiatum* в нормальных условиях и после стрессового воздействия. Иммуноблотинг после электрофореза в 13%-ном ПААГ.

а – маркеры молекулярной массы; б – интактные инфузории, акклимированные к пресной среде (соленость 0 ‰); в – интактные инфузории, акклимированные к среде соленостью 10 ‰; г – клетки, акклимированные к среде соленостью 10 ‰, через 2 ч после соленостного шока при (0 ‰) в течение 1 ч; д – клетки, акклимированные к пресной среде (0 ‰), через 2 ч после проведения соленостного шока при 10 ‰ в течение 1 ч.

Можно видеть, что соленостный шок вызывает у инфузорий, акклимированных к пресной и соленой средам, несимметричный ответ в отношении расхода – синтеза БТШ70, т. е. в случае переноса клеток из среды с соленостью 10 ‰ в пресную воду концентрация БТШ70 в клетках значительно выше, чем через такое же время после переноса из пресной воды в соленую.

Таким образом, согласно полученным результатам, у эвригалинных, стенопресноводных и эупресноводных видов протистов наблюдаются различные стратегии ответа шаперонной системы на повышение и понижение солености среды. Результатом акклимации эупресноводной *P. jenningsi* к повышенной солености является повышение конститутивного уровня содержания БТШ70 в клетке, тогда как для эвригалинного вида *P. nephridiatum* уровень содержания БТШ70 в клетке не изменяется. Стенопресноводный вид *A. proteus* имеет сходную с эупресноводным видом реакцию шаперонной системы на изменение солености среды.

В случае понижения солености среды эвригалинные организмы увеличивают уровень БТШ70 в клетке: у эвригалинных инфузорий *P. nephridiatum*, акклимированных к пресным условиям (0 ‰), уровень БТШ70 заметно превышал таковой у инфузорий, акклимированных к соленой среде (10 ‰). Полученные данные указывают на то, что для эвригалинных парамеций длительная акклимация к пресной воде является более сильным стрессом, нежели акклимация к среде соленостью 10 ‰.

Сравнение конститутивных уровней БТШ70 в клетках двух резко различных в отношении солеустойчивости (т. е. способности выживать при разной солености среды) видов инфузорий – пресноводной *P. jenningsi* и эвригалинной *P. nephridiatum* – показало, что у последних, акклимированных к пресной среде, этот уровень выше, чем у первых, также акклимированных к пресной воде. Т. е. у эвригалинной инфузории акклимация к пресной воде индуцирует синтез БТШ70 и поддержание его уровня в большей степени, чем у сугубо пресноводного представителя того же рода в тех же условиях. Таким образом, в процессе акклимации такие инфузории оказываются в определенном смысле преадаптированными к резким изменениям солености окружающей среды и реагируют на них, используя уже накопленный в клетке пул белков теплового шока. Это выражается, в частности, в заметном понижении исходно высокого уровня БТШ70 у эвригалинных парамеций, акклимированных к пресной среде, после их переноса в 10 ‰.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 08-04-01003).

#### Литература

- Евгеньев М. Б., Гарбуз Д. Г., Зацепина О. Г. 2005. Белки теплового шока: функции и роль в адаптации к гипертермии // Онтогенез. Т. 36. С. 265–273.
- Маргулис Б. А., Гужова И. В. 2000. Белки стресса в эукариотических клетках // Цитология. Т. 42, № 4. С. 323–342.
- Маргулис Б. А., Гужова И. В. 2009. Двойная роль шаперонов в ответе клетки и всего организма на стресс // Цитология. Т. 51, № 3. С. 219–228.

- Feder M. E., Hofmann G. E. 1999. Heat-shock proteins molecular chaperones, and the stress response: evolutionary and ecological physiology // *Ann. Rev. Physiol.*, V. 61. P. 243–282.
- Field J., Van Dellen K., Ghosh S. K., Samuelson J. 2000. Responses of *Entamoeba invadens* to heat shock and encystation are related // *J. Eukar. Microbiol.* V. 47. P. 511–514.
- Garbuz D. G., Zatssepina O. G., Przhiboro A. A., Yushenova I., Guzhova, I. V., Evgen'ev M. B. 2008. Larvae of related Diptera species from thermally contrasting habitats exhibit continuous up-regulation of heat shock proteins and high thermotolerance // *Molecular Ecology*. V. 17. P. 4763–4777.
- Joshi B., Biswas S., Sharma Y. D. 1992. Effect of heat-shock on *Plasmodium falciparum* viability, growth and expression of the heat-shock protein 'PFHSP70-I' gene // *FEBS Lett.* V. 312. P. 91–94.
- Kalinina L. V., Khrebtukova I. A., Podgornaya O. L., Wasik A., Sikora J. 1988. Heat shock proteins in *Amoeba* // *Eur. J. Protistol.* V. 24. P. 64–68.
- Laemmli U. K. 1970. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4 // *Nature*. V. 227. P. 680–685.
- McMullin Th. W., Hallberg R. L. 1987. A normal mitochondrial protein is selectively synthesized and accumulated during heat shock in *Tetrahymena thermophila* // *Mol. Cell Biol.* V. 7. P. 4414–4423.
- Perez-Serrano J., Martinez J., Perez B., Bernadina W. E., Rodriguez-Caabeiro F. 2000. In vitro shock response to different stressors in free living and pathogenic *Acanthamoeba* // *Int. J. Parasitol.* V. 30. P. 829–835.
- Podlipaeva Y. I. 2001. Heat shock protein of 70 kDa in *Amoeba proteus* // *Protistology*. V. 2. P. 123–129.
- Prescott D. M., Carrier R. F. 1964. Experimental procedures and cultural methods for *Euplotes eurystomus* and *Amoeba proteus* / Ed. D. M. Prescott. Methods in cell physiology New York – London: Acad. Press. P. 85–95.
- Requena J. M., Jimenez-Ruiz H., Soto M., Assiego R., Santaren J. F., Lopez., Pataroyo E., Alonso C. 1992. Regulation of HSP70 expression in *Trypanosoma cruzi* by temperature and growing phase // *Mol. Biochem. Parasitol.* V. 53. P. 201–211.
- Smurov A. O., Fokin S. I. 2001. Use of salinity tolerance data for investigation of phylogeny of Paramecium (Ciliophora, Peniculia) // *Protistology*. V. 2. P. 130–138.
- Sonneborn T. M. 1970. Methods in *Paramecium research* // *Meth. Cell Physiol.* V. 4. P. 241–339.
- Towbin H., Staehelin T., Gordon J. 1979. Electrophoretic transfer of proteins from polyacrylamide gels to nitrocellulose sheets: procedure and some applications // *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*. V. 76. P. 4350–4354.
- Wallace G. R., Ball A.E., MacFarlane J., el Safi S. H., Miles M., Kelly J. M. 1992. Mapping of visceral leishmaniasis-specific immunodominant B-cell epitope of *Leishmania donovani* Hsp70 // *Infection and Immunity*. V. 60. P. 2688–2693.

## ALTERATIONS OF HSP70 CONTENT IN THE CELLS OF FRESHWATER AND EURYHALINE CILIATES AND AMOEBAE IN THE COURSE OF THEIR ADAPTATION TO ENVIRONMENTAL SALINITY CHANGES

A. V. Goodkov<sup>1</sup>, A. O. Smurov<sup>2,3</sup>, Ju. I. Podlipaeva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Cytology RAS, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Zoological Institute RAS, St. Petersburg

<sup>3</sup>Biological faculty of St.-Petersburg State University

e-mail: pelgood@rambler.ru

The peculiarities of chaperone system reaction, including dynamics of HSP70 content as a result of environment salinity changes were studied in the representatives of long-distant taxa of lower eukaryotes, namely amoebae and ciliates. Species under study do belong to different ecological groups – *Amoeba proteus* (steno-freshwater species, salinity range 2.5–3.5 ‰), *Paramecium jenningsi* (eufreshwater species, 6–8 ‰) and *Paramecium nephridiatum* (euryhaline organisms, inhabiting fresh- and marine water up to 35 ‰).

Different strategies of chaperone system response were observed depending on increase or decrease of salinity of the medium. Acclimation of eufreshwater *P. jenningsi* to higher salinity resulted in increase of constitutive HSP70 level in the ciliate cells, whereas in the cells of euryhaline *P. jenningsi* the HSP70 level in these experimental conditions did not change. Steno-freshwater *A. proteus* reacts in the manner similar to eufreshwater ciliates. In the course of acclimation the euryhaline ciliates appear to be more preadapted to drastic environmental salinity changes than freshwater representatives of the same genus and respond to such changes by expenditure of heat shock protein pool, accumulated in their cells.

# МОРФОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СИГА (*COREGONUS LAVARETUS* L.) БАСЕЙНА ГУБЫ ЧУПА БЕЛОГО МОРЯ

П.А. Гуричев

Биологический НИИ, Санкт-Петербургский Государственный Университет,  
г. Санкт-Петербург, Россия  
e-mail: guritchev@rambler.ru

## Введение

Европейский сиг *Coregonus lavaretus* L. является полиморфным видом со сложной внутривидовой структурой. По мнению ряда авторов, число подвидов сига только для северо-запада России может колебаться от 18 до 6 (Правдин, 1954; Шапошникова, 1968; Решетников, 1980). Некоторые ихтиологи предлагают разбить данную группу на несколько самостоятельных видов (Китаев, 1983; Svardson, 1998; Kotellat, 2007). Противоречия во внутривидовой систематике сига во многом связаны с использованием разных подходов и разным пониманием природы вида. Тем не менее, всеми признано, что сиги эволюционно молоды, отличаются морфологической и экологической пластичностью и переживают период адаптивной радиации в постледниковое время. Основной способ адаптации выражается в изменчивости числа жаберных тычинок, что позволяет приспосабливаться к различному типу питания (Решетников, 1980). Так традиционно различают мало, средне и многотычинковые сиги. Первые имеют от 16 до 30 жаберных тычинок и характеризуются преимущественно бентосным питанием. Многотычинковые сиги (40–60 жаберных тычинок) способны отцеживать зоопланктон. Среднетычинковые (30–40 тычинок), как правило, имеют смешанный тип питания. Помимо числа жаберных тычинок, сиги проявляют изменчивость в ряде других морфологических признаков, могут вести пресноводный и морской образ жизни, различаться по времени и местам нереста и т.д. (Правдин, 1954; Решетников, 1980; Svardson, 1998; Kotellat, 2007). В последнее время для выяснения путей формообразования широко применяют молекулярно-генетические методы (Попов, Сендек, 2003; Bernatchez, 2002; Sendek, 2004). Тем не менее, для ряда регионов сиг остается малоизученным. В частности для Карелии до сих пор единственной и наиболее полной является сводка по сигам Правдина И.Ф. за 1954 г, где для многих озер данные крайне скудны или отсутствуют. Очевидно, что, не имея представления о разнообразии и распространении форм сигов на всем ареале, невозможно решить таксономические проблемы и представить картину филогении данного вида.

Целью исследования было изучить внутривидовую дифференциацию сига, обитающего в бассейне губы Чупа Белого моря (губа Кереть Белого моря, озера Лоухское, Кереть и Верхнее-Пулонгское). Одна из основных задач заключалась в описании морфологического разнообразия сигов по числу жаберных тычинок и изучения особенностей биологии (темпы роста особей, характер питания и особенности созревания).

## Материал и методы

Отлов сига производили ставными сетями ячеей от 18 до 45 мм в летний период в прибрежных участках губы Кереть Белого моря (911 шт.), в озерах системы реки Кереть (Лоухское (57 шт.) и Кереть (32 шт.)) и в озере Верхнее-Пулонгское (55 шт.) с 1997 по 2006 гг. Для каждой особи подсчитывали число жаберных тычинок на первой жаберной дужке, измеряли длину тела АС, определяли возраст по чешуе. Состав пищевого комка исследовали под биноклем. Стадию зрелости гонад определяли визуально согласно традиционной методике (Сакун, Буцкая, 1968). Сравнительное изучение темпа роста проводили по структуре чешуи. Измерения ширины приростов производили под биноклем в делениях окуляр-микрометра. Построение кривых роста и оценка расстояний между ними для выборок производили на основе методики предложенной Максимовичем Н.В. (1990). Для каждой выборки рассчитывали средние значения годовых колец, на основании которых

находили коэффициенты уравнения Бергаланфи:  $L_t = L_{\infty}(1 - \exp^{-k(t-t_0)})$ , где  $L_{\infty}$ ,  $k$  и  $t_0$  – коэффициенты. С его помощью строили теоретические кривые роста. Сравнение возрастных рядов осуществлено в ходе анализа остаточных дисперсий относительно кривых роста. Значимость различий между дисперсиями определяли по F-критерию ( $\alpha < 0,05$ ).

## Результаты и обсуждение

Во всех уловах была представлена малотычинковая форма, в озерах Лоухское и Кереть также обитают многотычинковые сиги, в озере Верхнее-Пулонгское несколько особей имело более 30 жаберных тычинок (рис.1). Возраст сигов составлял от 1+ до 13+, однако во всех выборках преобладали особи от 3+ до 6+. Размерно-возрастной состав отличался неоднородностью не только при сравнении выборок, но и внутри выборки. Так, разница в длине тела сигов Белого моря для одного возрастного класса составляла 20 см. Тем не менее, при анализе кривых роста были выявлены достоверные различия между выборками (рис.2). Самыми тугорослыми оказались малотычинковые озерные сиги, на втором месте – проходные сиги губы Кереть Белого моря, многотычинковые сиги Лоухского озера обладали самым высоким темпом роста. В питании озерной малотычинковой формы был представлен озерный бентос (Chironomidae, Trichoptera, Hydrophilidae, Ephemeroptera, Megaloptera (*Sialis* sp.) Sphaeriidae, Planorbidae, *Physa* sp., Gammaridae) и насекомые (Diptera, Hydrophilidae, Formicidae). Проходной малотычинковый сиг питается морским бентосом (*Nereis pelagica*, *Mytilus edulus*, *Macoma* sp., *Hydrobia ulvae*, *Mysis oculata*, *Calanus* sp.), также в отдельных случаях встречались насекомые и их личинки. В питании многотычинковых сигов были встречены планктонные организмы – в июле желудки многотычинковых сигов Лоухского озера были наполнены босминой. У многотычинковых сигов из других озер встречались и бентосные животные. На основе визуального состояния гонад было установлено, что все сиги в массе созревают в 4–6 лет, однако половозрелость малотычинковых озерных сигов наступает при длине тела 20–25 см, тогда как морские сиги и многотычинковые сиги Лоухского озера созревают при длине тела около 30 см и более. Плодовитость озерных бентофагов низка – 2–6 тыс. икринок, у морских сигов 17–25 тыс.

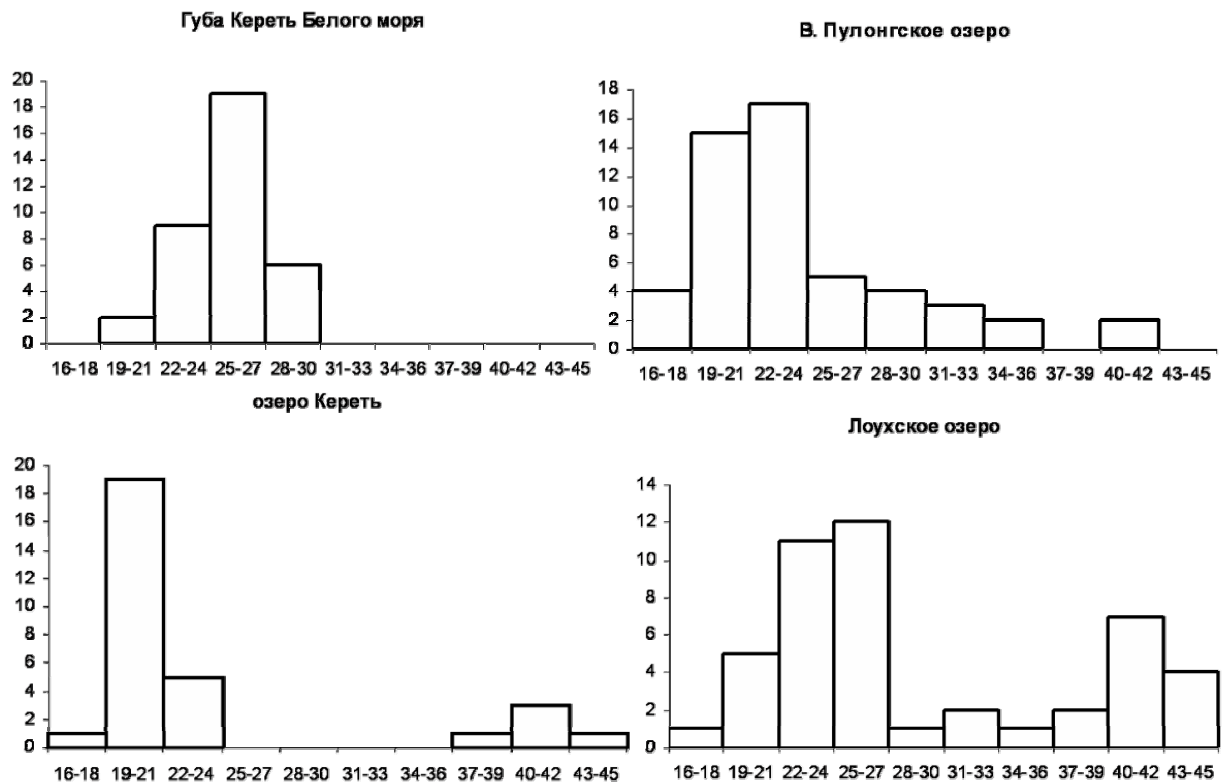


Рис.1. Частотное распределение сигов по числу жаберных тычинок. По оси абсцисс – число жаберных тычинок, по оси ординат – количество особей.

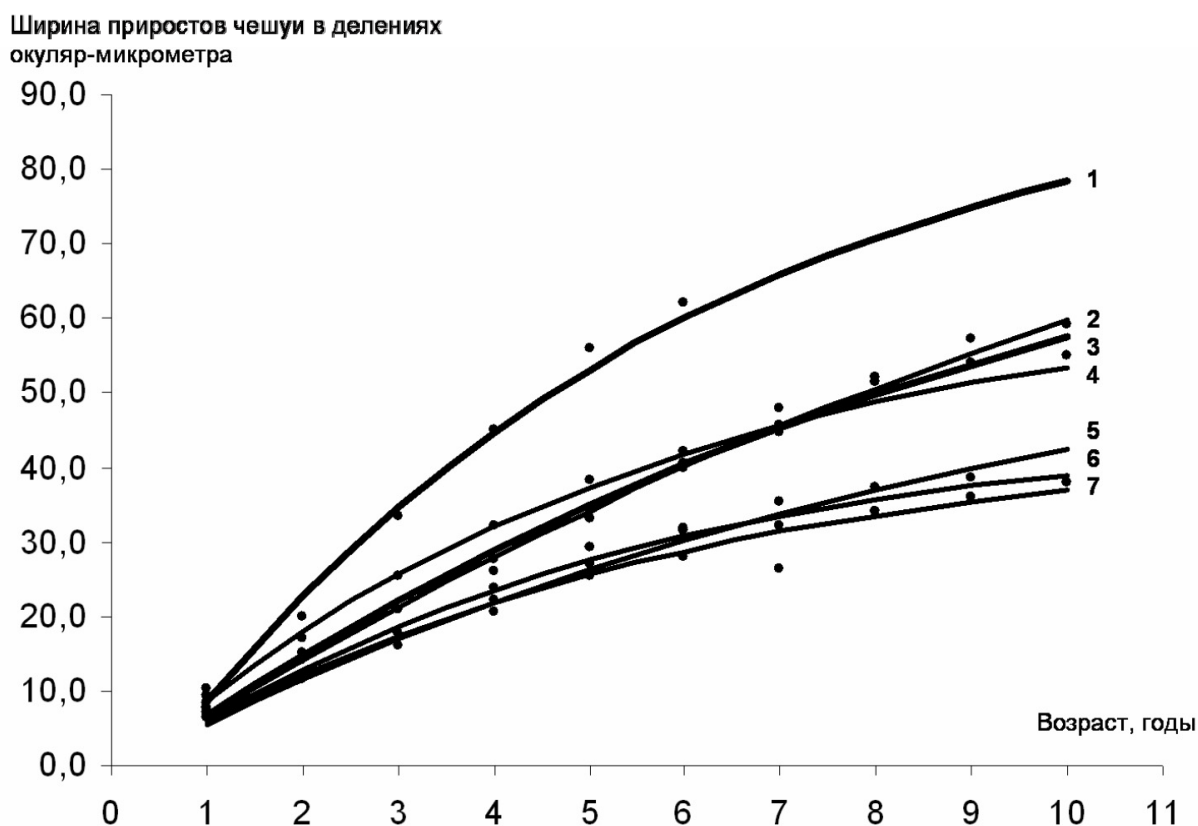


Рис.2. Теоретически кривые роста чешуи (1 – многотычинковый сиг озера Лоухское; 2 – малотычинковый сиг Белого моря; 3 и 4 – многотычинковые сиги озер Кереть и Верхнее Пулонгское; 5,6,7 – малотычинковые сиги озер Кереть, Верхнее-Пулонгское и Лоухское)

Результаты исследования позволяют выделить три морфо-экологические группы сигов исследуемого региона – малотычинковые озерные сиги – бентофаги обладающие медленным темпом роста, малотычинковые проходные сиги бентофаги губы Кереть Белого моря с более высоким темпом роста и многотычинковые озерные быстрорастущие сиги планктонофаги. По всей видимости, морской бентос и зоопланктон, обильно развивающийся летом в определенных участках озер, определяют относительно высокие продукционные характеристики сигов (темп роста, плодовитость). «Многотычинковость» с этой точки зрения можно рассматривать как один из способов адаптации сигов водоемов севера, которая позволяет расширять спектр питания. Напомним, что многие авторы рассматривают формы сигов как подвиды или самостоятельные виды. Однако если «разнотычинковость» в разных частях ареала (Скандинавия, Балтика, западное и восточное побережье Белого моря и пр.) возникала независимо и неоднократно, то ситуация с сигами не укладывается в рамки традиционных таксономических схем.

*Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ для поддержки научных школ Министерства науки, промышленности и технологий «Петербургская ихтиологическая школа» (НШ – 1668.2003.4).*

#### Литература

- Китаев С.П., 1983. К систематике complex Евразии // Лососевые (*Salmonidae*) Карелии. Петрозаводск. С. 18–42.
- Максимович Н.В., 1990. Статистическая оценка различий между возрастными рядами // Сб. науч. трудов ГосНИОРХ. Вып 316. С. 59–67.
- Попов И.Ю., Сендек Д.С., 2003. Квинтэссенция эволюции // Эволюционная биология: история и теория. Вып.2 СПб. С. 172–188.
- Правдин И.Ф., 1954. Сиги водоемов Карельской АССР. М.; Л.: Изд-во АН СССР. 324 с.
- Решетников Ю.С. 1980. Экология и систематика сиговых рыб. М.: Наука. 301 с.



Сагун О.Ф., Буцкая Н.А., 1968. Определение стадий зрелости и изучение половых циклов рыб. Мурманск. 48 с.

Шапошникова Г.Х., 1968. Сравнительно-морфологический анализ сигов Советского Союза // Морфология низших позвоночных животных. Том XLVI труды ЗИНа АН СССР. Л.: Наука. С. 207–256.

Bernatchez L., Chouinard A., Lu G. 1999. Integrating molecular genetics and ecology in studies of adaptive radiation: whitefish, *Coregonus* sp., as a case study // Biological Journal of the Linnean Society Volume 68, Issues 1–2. P. 173–194.

Kottelat, M., J. Freyhof. 2007. Handbook of European freshwater fishes / Kottelat, Cornol, Switzerland and Freyhof, Berlin, Germany. 349–392.

Sendek D. 2004. The origin forms of European whitefish (*Coregonus lavaretus* (L.)) in Lake Ladoga based on comparative genetic analysis of populations in North-West Russia // Ann. Zool. Fennici 41. P. 25–39.

Svardson G. 1998. Postglacial Dispersal and Reticulate Evolution of Nordic Coregonids // Nordic J. Freshw. Res. 74. P. 3–32.

## THE MORPHOBIOLOGICAL CHARACTERISTIC OF WHITEFISH (*COREGONUS LAVARETUS* L.) OF CHUPA BAY OF THE WHITE SEA

P.A. Guritchev

Biological research institute of the St.-Petersburg state University, Saint-Petersburg, Russia

e-mail: guritchev@rambler.ru

Samples of whitefish from water areas Keret bay of the White sea, lakes Loukhskoe, Keret and Verkhnee Pulongskoe are investigated on the basic biological parameters. In samples were low and density gill-rakered whitefishes (16–31 and 37–45 gill rakers), which differ on rate of growth, feed and age of sex maturity. Thus, in researched region it is possible to allocate three morpho-ecological forms: small lake low gill-rakered bentic whitefishes, larger anadromic low gill-rakered bentic whitefishes and large lake density gill-rakered planktonic whitefishes.

## ПОПУЛЯЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЯПУШКИ КЕНОЗЕРСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА

Г.А. Дворянкин

Северный филиал ФГУ «Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича», Архангельск, Россия

Кенозерский национальный парк, Архангельск, Россия

e-mail: dga@sevpinro.ru

Кенозерский национальный парк (КНП) – это уникальный природный и историко-культурный комплекс, расположенный на юго-западе Архангельской области. С 2004 г. он входит во Всемирную сеть Биосферных Резерватов ЮНЕСКО. Одной из важных задач национального парка является сохранение традиционного рыболовства и обеспечение местного населения рыбной продукцией. В Кенозерском парке около трехсот озер общей площадью более 200 км<sup>2</sup>, что составляет 14,4 % всей его территории. Ежегодно на внутренних водоемах КНП вылавливается от 76 до 105 тонн сига, ряпушки, щуки, леща и др. видов рыб. Главным промысловым объектом в парке является европейская ряпушка *Coregonus albula* (Linnaeus, 1758). Ее удельный вес составляет, в среднем, 30 % общего улова рыбы КНП.

### Распространение и систематика

В пределах Архангельской области ряпушка распространена в северной, северо-восточной и юго-западной частях региона, населяя озера бассейнов рек Онеги, Северной Двины и Мезени. Ряпушка Кенозерского национального парка территориально отделена от основных мест обитания этого вида в Архангельской области. Фактически ее ареал в пределах парка является западной границей распространения ряпушки Карелии.

Особенностью Кенозерского национального парка является географическая изолированность рыбных сообществ – по территории КНП проходит водораздел между бассейнами Балтийского и

Белого морей. В следствие этого, ряпушка Кенозерского национального парка образует 4 географически и репродуктивно изолированные популяции. Две из них – в озерах беломорского бассейна (Кенозеро и Лекшмозеро) представляют собой мелкие озерные формы схожие по темпам весового и линейного роста. Популяции балтийского бассейна обитают в Наглимозере и озерной системе Масельгское-Вендозеро. Это крупные формы ряпушки с высокими показателями длины и массы тела в 3–4 раза большими, чем у одновозрастных мелких форм.

Во всех работах, посвященных ряпушке Кенозерского национального парка, подразумевается, что эта рыба относится к виду *Coregonus albula* (L.), т.е. является европейской ряпушкой. Однако, до настоящего времени никаких исследований по уточнению ее таксономического статуса не проводилось. В 2006–2008 г.г. нами был проведен морфометрический анализ всех промысловых популяций ряпушки по общепринятой методике (Правдин, 1966). Результаты исследований (по Решетникову, 1980) показали ее полное соответствие европейской ряпушке – антедорсальное расстояние (A-D) превышает 42% от длины AD, а вентроанальное расстояние (V-A) в процентах от A-D составляет 53–54%. Среднее число позвонков, равное 56–58, также типично для *Coregonus albula*. Анализ нативных белков ряпушки КНП показал признаки гибридизации, сближающие ее с сибирской ряпушкой, но по уровню генетического разнообразия местная ряпушка практически не отличается от типичной европейской. Различия между ряпушками в границах парка имеют как минимум популяционный уровень. Интересно, что сравнение ряпушки КНП с популяциями других регионов выявило наибольшее сходство ряпушки Наглимозера и Соловецких островов (Гордеева и др., 2009). Возможно, здесь находится ответ на многолетний дискуссионный вопрос о происхождении соловецкой ряпушки.

#### **Размерно-возрастная структура**

В КНП в озере Лекшмозеро обитает самая большая в Архангельской области озерная популяция ряпушки. Здесь вылавливают более 70 % всей ряпушки региона. Это второй по величине водоем КНП. Площадь его водного зеркала равна 54,4 км<sup>2</sup>, средняя глубина составляет 7–8 м, максимальная глубина – 28 м. Местная популяция представлена мелкой озерной формой. В уловах доминируют особи длиной (AD) от 12 до 14 см, в возрасте 2–3 года (табл. 1). Максимальная продолжительность жизни лекшмозерской ряпушки – 5 лет.

Таблица 1

**Размерно-возрастная характеристика ряпушки Лекшмозера (ноябрь 2007 г.)**

Возраст, г.	Средняя длина (AD), см	Средняя масса, г	Количество исследованных рыб	
			экз.	%
1+	12,5	19	57	32,8
2+	13,4	25	99	56,5
3+	14,8	33	16	9,6
4+	17,2	53	2	1,1
Среднее	13,2	23	174	100

До последнего времени мнения о численности популяции лекшмозерской ряпушки сильно разнились. Были предложения по значительному ограничению ее промысла. Так, в 90-х годах официально вылавливалось 7 тонн этой рыбы. Однако, в ходе наших исследований установлено, что запасы ряпушки позволяют значительно увеличить объемы добычи. Получению достоверных данных о ее численности в водоеме невольно помогла экологическая катастрофа, случившаяся в 1996 г. В результате совпадения ряда неблагоприятных факторов на Лекшмозере произошел замор рыбы – по экспертным оценкам погибло примерно 70 тонн ряпушки (не менее 90 % популяции). На следующий год ее улов составил несколько десятков кг. Но уже через два года промысел был восстановлен в полном объеме. Простой расчет показал, что общий запас ряпушки в водоеме составляет 75–80 т.

Вторая по численности популяция ряпушки КНП обитает в крупнейшем водоеме парка – Кенозере. Площадь зеркала озера составляет 68,6 км<sup>2</sup>, наибольшая длина – 23 км, ширина – 10 км. Это самый глубокий водоем Архангельской области – наибольшая глубина достигает 90 м. Кенозерская ряпушка также представлена мелкой формой. В уловах 2007 г. нами обнаружены представители трех возрастных групп 1+ – 3+. Средние размеры особей вступающих в промысел колеблются по длине (AD) от 12 до 13 см и по массе от 19 до 33 г. (табл. 2). Сравнение размерно-возрастных характеристик двух популяций ряпушки показывает, что, при идентичном весе, лекшмозерская ряпушка имеет более прогонистое тело.

Таблица 2

**Размерно-возрастная характеристика ряпушки Кенозера (ноябрь 2007 г.)**

Возраст, г.	Средняя длина (AD), см	Средняя масса, г	Количество исследованных рыб	
			экз.	%
1+	12,1	19	17	30,9
2+	12,9	26	37	67,3
3+	13,0	33	1	1,8
Среднее	12,7	24	55	100

Наглимозеро, относящееся к балтийскому бассейну, находится в 4 км к северо-западу от Лекшмозера. Площадь его водной поверхности 5,7 км<sup>2</sup>. Максимальная глубина равна 22 м. Местная популяция ряпушки представлена в уловах особями в возрасте от 2+ до 5+ лет. Темпы ее роста значительно превосходят лекшмозерскую ряпушку. Средняя длина (AD) ряпушки из уловов колеблется от 20 см у трехлеток до 26 см у рыб в возрасте 5+, масса – от 100 до 300 г, соответственно (табл.3).

Таблица 3

**Размерно-возрастная характеристика ряпушки Наглимозера (ноябрь 2007 г.)**

Возраст	Средняя длина (AD), см	Средняя масса, г	Количество исследованных рыб	
			экз.	%
2+	20,3	107	5	11,4
3+	21,9	141	10	22,7
4+	23,2	171	27	61,4
5+	26,3	286	2	4,5
Среднее	22,7	162	44	100

Озера Масельгское и Вендозеро расположены в 3–8 км к северу от Лекшмозера и образуют одну водную систему. Это небольшие водоемы с площадью водной поверхности 3,4 и 1,0 км<sup>2</sup>, соответственно. Местная ряпушка также немногочисленна и характеризуется высоким темпом роста. При этом ее размеры близки к максимальным для представителей этого вида в нашем регионе. пойманная нами самка в возрасте 7+ имела длину (AD) почти 31 см и массу 491 г (табл. 4). Ряпушка таких размеров на территории Архангельской области описана впервые.

Таблица 4

**Размерно-возрастная характеристика ряпушки Масельгского-Вендозера**

Возраст	Средняя длина (AD), см	Средняя масса, г	Количество исследованных рыб	
			экз.	%
4+	20,8	114	1	5
5+	23,3	180	13	65
6+	27,4	329	5	25
7+	30,7	491	1	5
Среднее	24,6	230	20	100

**Воспроизводство**

Нерест у ряпушки КНП ежегодный, осенне-зимний, единовременный. Сроки размножения определяются температурным режимом водоемов. Нерест начинается при температуре воды +3 – +4<sup>0</sup> С, в 20-х числах октября. Основной подход текущих производителей ряпушки отмечается обычно в конце октября-начале ноября при температуре воды 1–2<sup>0</sup> С. Заканчивается нерест подо льдом в середине декабря. Нерестилища расположены на песчаных, песчано-галечных и каменистых грунтах.

Ряпушка Лекшмозера созревает на втором году жизни. В этом же возрасте она вступает в промысел. Абсолютная плодовитость местной ряпушки относительно небольшая и колеблется, в среднем, от 2200 икринок у двухлеток до 3700 у рыб в возрасте 4+. Коэффициент зрелости увеличивается к трем годам, затем постепенно снижается и составляет, в среднем, 19–20 % (табл.5). Соотношение самцов и самок равно 4:1.

Таблица 5

**Репродуктивная характеристика ряпушки Лекшмозера**

Возраст, г.	Плодовитость		Коэффициент зрелости	Исслед. рыб, экз.
	абсолютная	относительная		
1+	2428	131	19,1	84
2+	3232	132	20,2	33
3+	4462	120	19,1	13
4+	6011	106	18,7	6

Кенозерская ряпушка созревает также на втором году жизни. Ее абсолютная плодовитость несколько больше, чем у лекшмозерской ряпушки и колеблется от 3149 икринок у двухлеток до 4644 у четырехлеток. Относительная плодовитость кенозерской ряпушки также выше. Коэффициент зрелости составляет, в среднем, 21–22 % и тоже достигает максимальных значений в возрасте 2+ (табл. 6). Соотношение самцов и самок равняется примерно 1:1

Таблица 6

**Репродуктивная характеристика ряпушки Кенозера**

Возраст, г.	Плодовитость		Коэффициент зрелости	Исслед. рыб, экз.
	абсолютная	относительная		
1+	3220	198	21,5	21
2+	3875	184	21,9	26
3+	5517	208	21,5	2

Абсолютная плодовитость крупной ряпушки КНП намного выше, чем у представителей беломорских популяций. У наглимозерской ряпушки она составляет от 13 до 18 тыс. икринок. Относительная плодовитость напротив – меньше. Коэффициент зрелости у нее с возрастом снижается (табл. 7). Соотношение самцов и самок равно 1:4.

Таблица 7

**Репродуктивная характеристика ряпушки Наглимозера**

Возраст, г.	Плодовитость		Коэффициент зрелости	Исслед. рыб, экз.
	абсолютная	относительная		
3+	13680	112	21,6	1
4+	14592	106	20,6	6
5+	18385	84	16,4	2

Еще большие показатели абсолютной плодовитости у ряпушки озерной системы Масельгское-Вендозеро. В зависимости от возраста она колеблется от 20 до почти 55 тыс. икринок, что в 15–17 раз больше, чем у лекшмозерской ряпушки. Коэффициент зрелости с возрастом увеличивается от 21 до 31 %. Относительная плодовитость также возрастает (табл. 8).

Таблица 8

**Репродуктивная характеристика ряпушки Масельгское-Вендозеро**

Возраст, г.	Плодовитость		Коэффициент зрелости	Исслед. рыб, экз.
	абсолютная	относительная		
5+	20136	125	20,9	4
6+	40688	160	23,6	4
7+	54720	168	31,0	1

**Питание**

Качественный и количественный анализ питания сделан для наиболее массовых популяций ряпушки озер Кенозеро и Лекшмозеро. В обоих водоемах представители этого вида являются типичными планктонофагами.

Кенозеро. Основными компонентами питания ряпушки в осенний период являются ветвистоусые рачки. Наиболее предпочитаемый объект – рачки рода *Daphnia* (96,5%). Кроме них отмечены и рачки рода *Bosmina* (3,5%). Откорм в период нереста проходит не интенсивно, средний индекс наполнения желудочно-кишечного тракта составляет  $17,8^{0/000}$ , изменяясь в пределах от 6,5 до  $30,5^{0/000}$ .

Лекшмозеро. Основными компонентами питания лекшмозерской ряпушки осенью также являются ветвистоусые (88,4%), и веслоногие (11,5%) рачки. В незначительном количестве отмечаются личинки хирономид (0,1%), ручейников (0,05%) и насекомые с поверхности воды (0,01%). Наиболее предпочитаемый объект ряпушки – рачки родов *Daphnia* (61,3%) и *Bosmina* (27,0%). Откорм также проходит не интенсивно, средний индекс наполнения желудочно-кишечного тракта составляет  $27,5^{0/000}$ , изменяясь в пределах от 1,3 до  $125,4^{0/000}$ .

Изучение пищевых взаимоотношений рыб показало, что ряпушка в указанных озерах не имеет серьезных конкурентов в питании, что и делает ее одной из самых массовых рыб в КНП.

Наши исследования, таким образом, говорят о том, что на территории Кенозерского национального парка существует четыре географически и репродуктивно изолированные популяции ряпушки. Являясь представителями одного вида *Coregonus albula* ряпушки КНП, образуют экологические формы сильно отличающиеся друг от друга по многим параметрам. Причину столь резких различий еще предстоит найти.

#### Литература

Гордеева Н.В., Холод О.Н., Дворянkin Г.А., Сендек Д.С., Стерлигова О.П., 2009 О происхождении соловцевой ряпушки *Coregonus albula* и корюшки *Osmerus eperlanus* Сямозера.// Журн. вопросы ихтиологии. Т. 49, № 1. С. 28–36.

Правдин И.Ф., 1966 Руководство по изучению рыб. М.: Пищевая промышленность. 375 с.

Решетников Ю.С., 1980 Экология и систематика сиговых рыб. М.: Наука. 302 с.

### POPULATION CHARACTERISTICS OF VENDACE IN KENOZERSKIJ NATIONAL PARK

G. A. Dvoryankin

SevPINRO, Arkhangelsk, Russia

The article presents an overview of the territorial range and biological characteristics of different vendace populations in Kenozerskiy national park (KNP). The results of genetic and morphometric researches are provided. There was made a conclusion about the existence of four geographically and reproductively isolated populations of european vendace *Coregonus albula* (L.) on the KNP territory. It was determined, that the vendace of this national park develops ecological forms, which differ from each other by numerous parameters.

### БИОАККУМУЛЯЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ РАЗЛИЧНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ ЭКОСИСТЕМЫ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ

Л.Л. Демина <sup>1</sup>, Д.М. Мартынова <sup>2</sup>, К.В. Подлесных <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Учреждение Российской академии наук Институт океанологии  
им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> Учреждение Российской академии наук Зоологический институт РАН,  
г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Московский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,  
e-mail: l\_demina@mail.ru

Некоторые тяжелые металлы (Hg, Cd, Pb, Zn, Cu, Sb, Ni и др.) наряду с устойчивыми органическими веществами и радионуклидами являются наиболее опасными загрязняющими токсичными веществами. Наиболее подходящим объектом для мониторинга загрязнения служат донные организмы, особенно те ее представители, которые ведут прикрепленный или сидячий образ жизни (Goldberg, 1975) и обладают высокой биомассой – до 10 кг сырого веса/кв.м (Berger et al., 2001). Известно, что биомониторами являются таксоны, аккумулирующие в своих тканях тяжелые металлы и

другие микрозагрязнители в соответствии с уровнями их биодоступной формы в окружающей среде (Blackmore et al., 1998). В подавляющем большинстве исследований по биоаккумуляции металлов в моллюсках рассматриваются лишь мягкие ткани, в то время как раковины с биомассой в десятки раз выше, чем мягких тканей, остаются без должного внимания. Металлы накапливаются в карбонатных раковинах в результате как биологических (биоминерализация), так и физико-химических (адсорбция на внешней поверхности) процессов. В целях экологического мониторинга используются и другие гидробионты (зоопланктон, макрофиты, ракообразные и др.), которые дают разные количественные и качественные отклики на разные источники биодоступных металлов (Матишов и др., 2009).

Белое море характеризуется как различными биотопами, так и наличием районов с разным уровнем антропогенной нагрузки (Белое море., 1995). В свете этого наиболее интересными представляются исследования в районах с минимальной антропогенной нагрузкой для последующего использования этих данных в качестве фоновых при исследованиях уровня загрязнения тяжелыми металлами, связанного с деятельностью человека. Целью данной работы стало сравнительное исследование биоаккумуляции ряда тяжелых металлов (As, Cd, Fe, Mn, Cu, Zn, Pb и Hg) разными биотическими компонентами экосистем Кандалакшского залива Белого моря. Исследовались планктонные организмы: рачковый зоопланктон (фитофаги), щетинкочелюстные *Sagitta elegans*, амфиподы *Hyperiididae*; а также бентосные формы: представители типа Porifera, макрофиты *Laminaria spp.*, *Fucus vesiculosus*, *Zostera marina* и красные водоросли *Ahnfeltia plicata*, а также наиболее массовые сублиторальные двустворчатые моллюски *Mytilus edulis* (32 экз. раковин и мягких тканей отдельно). Пробы были отобраны в ноябре 2008 г. мористее м. Картеш (о-ва Кемь-Луды). Первичная подготовка проводилась на базе Беломорской биостанции Зоологического Института РАН. Отобранные гидробионты промывались бидистиллятом. У мидий их мягкие ткани отделялись от раковин, пробы высушивались при температуре 60°C. В стационарных условиях каждый экземпляр измеряли и взвешивали. Для анализа металлов в мидиях брали объединенные по 4 экз. пробы как раковин, так и мягких тканей. Полное разложение истертых проб (навеска 50 мг для мягких тканей и 500 мг для раковин) проводили с помощью смеси из 1 мл HNO<sub>3</sub> (super pure MERCK) и 0.5 мл H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (30%) в тefлоновых сосудах микроволновой системы MWS-2 (Berghof, Германия) при температуре 120°C и избыточном давлении, которые индуцированы магнетроном (мощностью 1,5 кВт). После охлаждения к растворам проб добавляли 18,5 мл деионизованной воды и переносили пробу в пластиковый флакон HDPE (Wheaton, США). В раковинах моллюсков кроме общего содержания определяли и наиболее легко связанную адсорбированную форму металлов, извлекаемую при экстракции 25%-ной уксусной кислотой. Концентрацию металлов определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС): Fe, Mn, Zn и Cu – в пламенном варианте на спектрометре КВАНТ-2А; Pb, Cd, As – в электротермическом варианте на спектрометре КВАНТ- Z.ЭТА. Содержание Hg анализировали методом холодного пара на ААС КВАНТ- Z.ЭТА с приставкой ГРГ-106 Контроль правильности анализа проводили с использованием Государственных стандартных образцов (ГСО) ионов анализируемых металлов, международных стандартных образцов: NIST SRM 2976 Mussel tissue, IAEA MA-A-2/TM Fish flash homogenate и GSD-7.

Исходя из полученных результатов, можно отметить, что содержание металлов среди изученных гидробионтов характеризуется значительной вариабельностью, составляющей 6 порядков величин – от  $n \cdot 10^4$  мкг/г сух.в. (Fe) до  $n \cdot 10^{-2}$  мкг/г сух.в. (Hg). В порядке убывания содержания во всех организмах металлы располагаются в следующем ряду: Fe > Zn > As > Mn > Cu > Pb > Cd > Hg, что отражает в первом приближении последовательность концентраций этих металлов в морской воде.

Исследованные организмы показали разные способности к аккумуляции металлов. Так, в макрофитах обнаружены пиковые концентрации Fe (2295 мкг/г) и Mn (931,4 мкг/г), что в обоих случаях в десятки раз выше, чем в других гидробионтах. В отличие от других тяжелых металлов, медь в наибольшей степени склонна к образованию металлоорганических комплексов, ее высокое содержание отмечено не в одном, а в нескольких типах организмов (рис. 1): в красных водорослях (21,3 мкг/г), зоопланктоне (15,2 мкг/г) и амфипode *Hyperiididae* (16,5 мкг/г). В крупном зоопланктоне *Sagitta elegans* отмечено максимальное по сравнению с другими организмами содержание Zn и Pb – 19,1 мкг/г (рис.1). В губке в наибольшей степени накапливается As – до 47 мкг/г (рис.1).

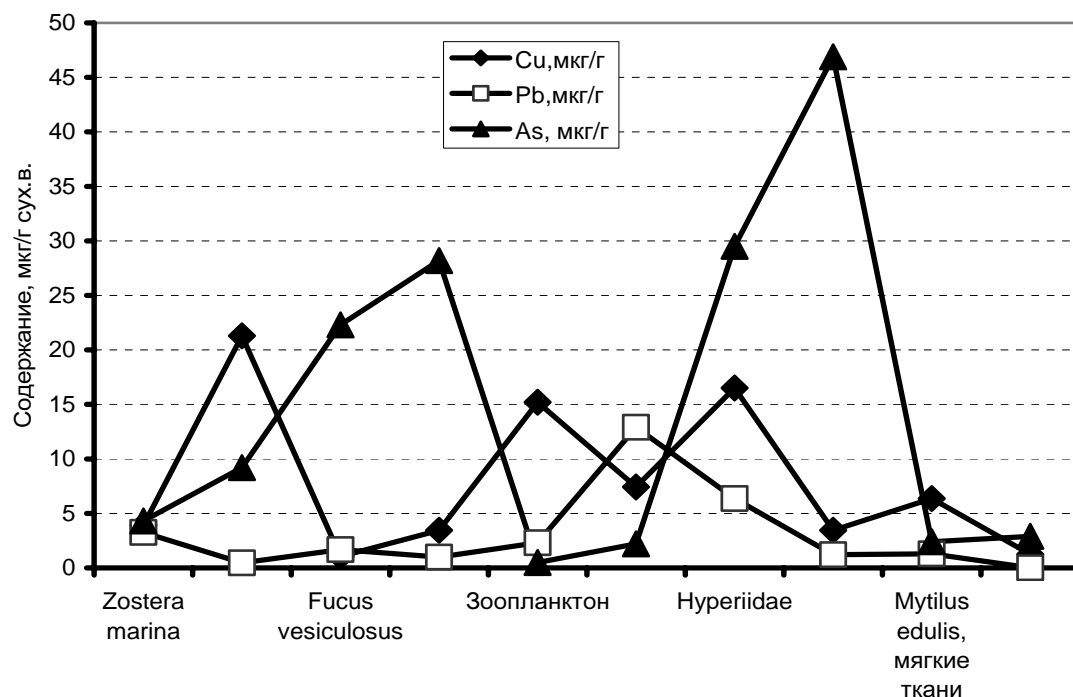


Рис. 1. Распределение меди, свинца и мышьяка в различных гидробионтах Кандалакшского залива

В тканях амфипод *Hyperiidae*, как видно из рис.2, наиболее эффективно аккумулируются Cd (до 5,32мкг/г) и Hg (до 0,338 мкг/г). По-видимому, вариабельность содержания металлов в разного типа гидробионтах обусловлена как разными геохимическими свойствами металлов, так и биологическими особенностями организмов (видовая специфика, тип питания и др.).

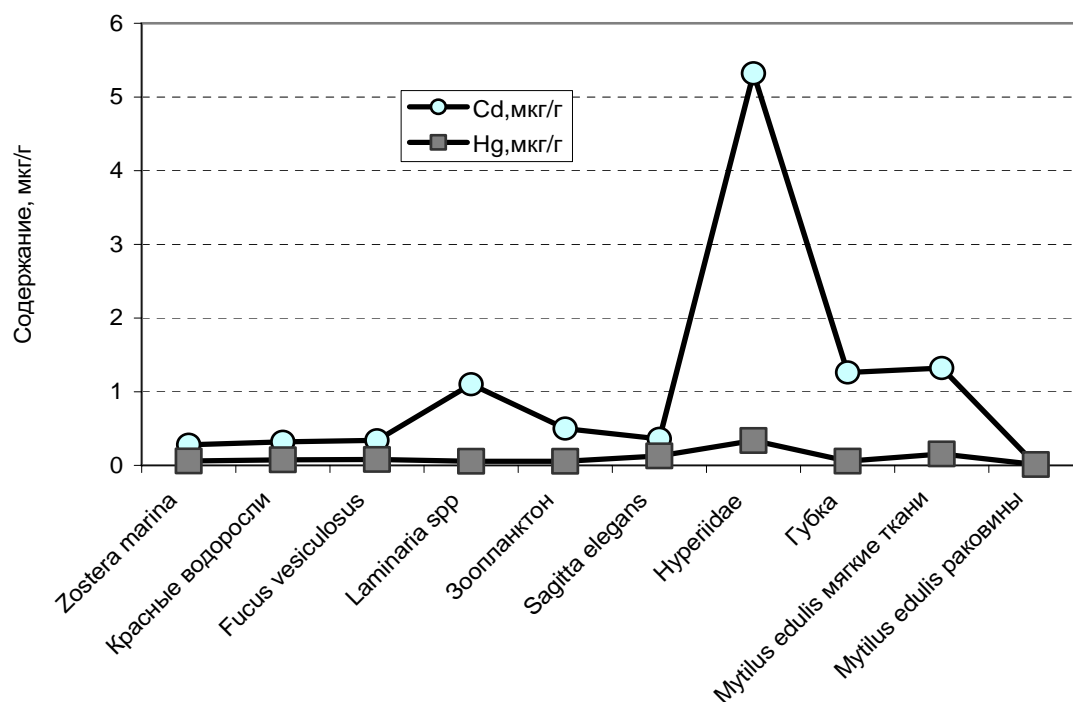


Рис. 2. Распределение кадмия и ртути в различных гидробионтах Кандалакшского залива

Отметим, что как мягкие ткани, так и раковины двустворчатого моллюска *Mytilus edulis* не отличаются повышенными по сравнению с другими организмами содержаниями металлов. Мягкие ткани обогащены относительно раковин железом (в 8 раз), медью (в 5 раз), ртутью (в 10 раз), цинком (в 30 раз), свинцом (в 60 раз) и кадмием (в 220 раз). Для марганца и мышьяка различия между мягкими тканями и раковинами оказались незначительными (Таблица). Однако, роль карбонатных раковин в процессах биоаккумуляции некоторых металлов двустворчатыми моллюсками значительно выше, чем вклад их мягких тканей. В этом легко убедиться, если перейти к расчетам содержания металлов на целый организм мидии с учетом доли раковин и мягких тканей.

Проведенные нами морфометрические измерения показали, что длина раковин *Mytilus edulis* изменялась от 24 до 39 мм, средняя = 29 мм. Вес раковин изменялся в пределах 0,714–2,457 г, в среднем составляя 2,22 г. Вес сухих мягких тканей составлял от 0,034 до 0,189 г, в среднем 0,068 г. Из этого следует, что средний вес целого организма мидии равен 2,288 г, при этом на долю раковины приходится 97 % общего веса мидии, вклад мягких тканей составляет соответственно 3%.

**Среднее содержание металлов\*) в мягких тканях и раковинах *Mytilus edulis*, а также в целом теле мидии с учетом весовой доли мягких тканей и раковин**

Металл	Содержание, мкг/г сух. в.		Содержание, мкг/г с учетом доли частей тела		Суммарное содержание, мкг/г в целом теле
	мягкие ткани	раковины	мягкие ткани (доля 0,03)	раковины (доля 0,97)	
Fe	280 ± 12	32,8 ± 14,8	8,4	31,8	40,2
Mn	0,5 ± 0,35	1,8 ± 0,2	0,015	1,75	1,77
Cu	6,37 ± 1,35	1,24 ± 0,65	0,19	1,20	1,39
Zn	106 ± 21	3,4 ± 2,1	3,18	3,30	6,48
As	2,54 ± 0,81	2,91 ± 2,05	0,08	2,81	2,89
Cd	1,32 ± 0,18	0,006 ± 0,003	0,04	0,006	0,046
Pb	1,29 ± 0,60	0,021 ± 0,007	0,04	0,02	0,06
Hg	0,155 ± 0,013	0,016 ± 0,004	0,005	0,016	0,021

\*) ± среднее квадратичное отклонение

Из таблицы следует, что основная масса Fe, Mn, Cu, As и Hg сосредоточена в карбонатной раковине, Zn почти поровну распределен в теле моллюска между мягкими тканями и раковиной, а большая часть массы Cd и Pb связана с мягкими тканями. Таким образом, располагая полученными нами данными, можно рассчитать биоаккумуляцию металлов на биомассу моллюсков, которая обычно выражается на сырой вес. Приблизительный индекс пересчета сухой вес/сырой вес составляет 0,05 (Сухотин, 1989), а средняя биомасса мидий в сублиторали = 9839 г сырого веса на кв. м (Berger et al., 2001). Принимая значение сухой биомассы равной 492 (0,05·9839) г/кв.м, и умножая ее на содержание металлов в целом теле, можно примерно оценить массы металлов, которые аккумулируются биомассой моллюсков. Эти величины составляют (мг металла /кв.м): Fe – 19,8; Zn – 3,2; As – 1,4; Mn – 0,9; Cu – 0,7; Pb – 0,03; Cd – 0,02; Hg – 0,01. Таким образом, биофильтр бентосных организмов в прибрежной зоне (Зенкевич, 1963) только в виде двустворчатых моллюсков может аккумулировать в себе значительные массы металлов, являясь важным компонентом самоочищения водоема.

Наши эксперименты по экстракции ионов металлов 25% уксусной кислотой (pH 5) из карбонатного вещества раковин моллюсков показали, что для разных металлов эта форма имеет разное значение. Среди других металлов экстрагируемая форма минимальна для железа и в среднем для всех размерностей не превышает 3 %, на долю адсорбированной формы As приходится менее 10%: т.е. практически все железо и весь мышьяк находятся в раковинах в составе карбонатного материала, а не в адсорбированной форме на поверхности раковин. Около 30–40% от общего количества Pb, Cu (рис.3а) и Cd (рис.3б) приходится на экстрагируемую уксусной кислотой форму. Марганец в раковинах содержится почти наполовину в легкоподвижной адсорбированной форме. В еще большей степени – около 60% от общего содержания – значима роль адсорбированной формы для Zn. Интересно отметить подобие кривых, отражающих изменение общего содержания металлов в раковинах и их адсорбированной формы.



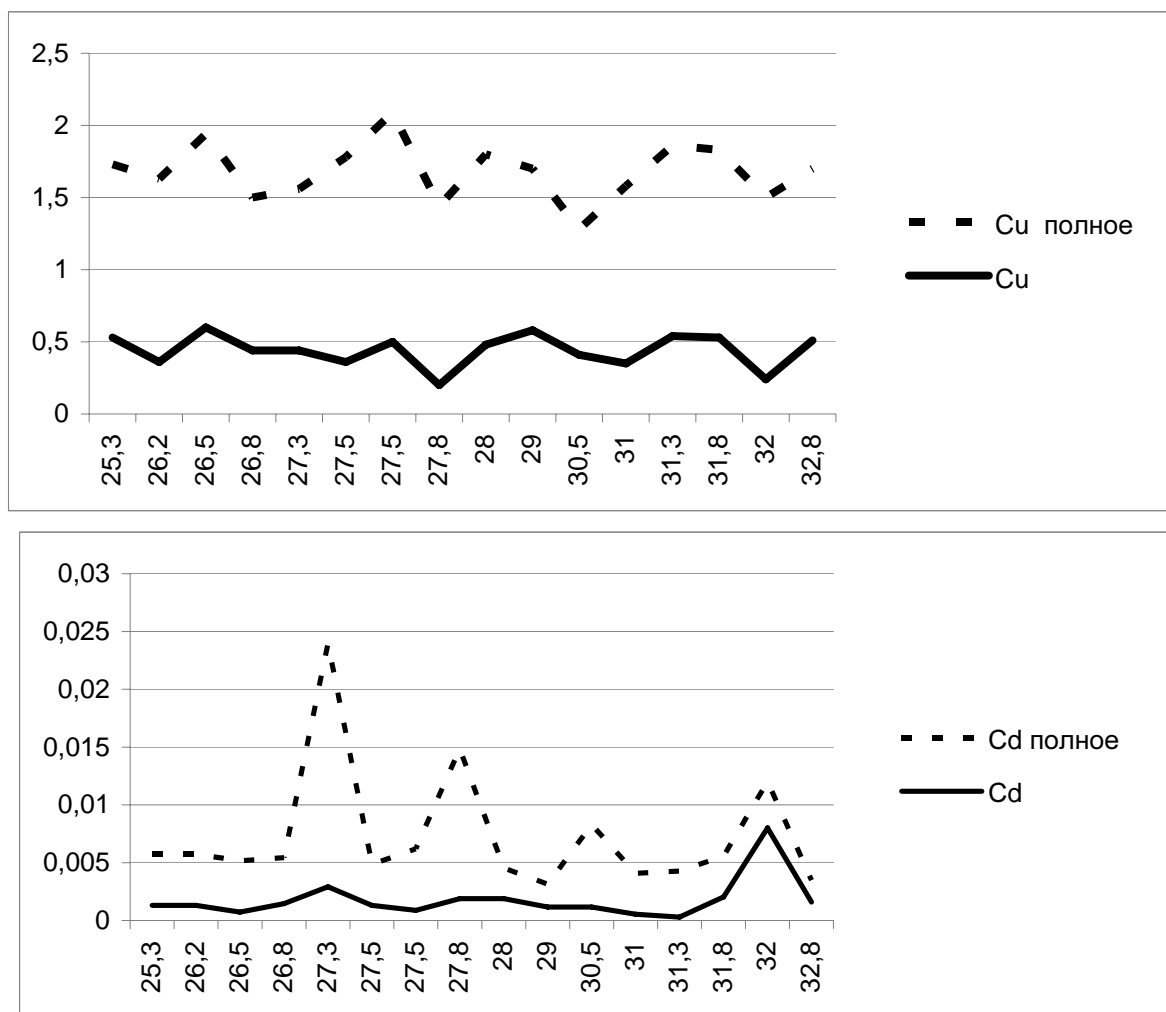


Рис. 3. Сопоставление общего (полного) содержания и адсорбированной формы (мкг/г) Cu (а) и Cd (б) в зависимости от длины раковин (мм) моллюсков *Mutilus edulis*

Из этого, по-видимому, можно сделать предварительный вывод о том, что раковины моллюсков являются не только основным депо, в котором удерживаются металлы, но и позволяют оценить долю металлов в наиболее лабильной адсорбированной форме, которая возвращается в воду при изменении pH в результате как природных, так и антропогенных процессов.

Сравнение наших данных по содержанию металлов в мягких тканях двустворчатых моллюсков *Mytilus edulis* с условно фоновыми значениями (Zn < 200, Cu < 10, Pb < 5, Cd < 2 мкг/г.сух.в.) для морей северной Европы (Laane, 1992) показало, что уровни Cu, Zn, Cd и Pb не превышают фон (по другим металлам данных нет). На основании этого акватория вблизи мыса Картеш в Кандалакшском заливе может считаться свободной от загрязнения.

### Выводы

Различные гидробионты, обитающие в литорали мористее мыса Картеш Кандалакшского залива Белого моря, в разной степени концентрируют в своих тканях тяжелые металлы, что обусловлено как видовыми различиями, так и разной геохимической природой металлов. Установлена важная количественная роль раковин *Mytilus edulis* в аккумуляции металлов и соответственно в биотическом самоочищении бассейна. Получена оценка по массам металлов, которые аккумулируются биомассой двустворчатых моллюсков: наибольшее количество в биомассе моллюсков установлено для Fe – около 200 мг/кв.м, наименьшее – для Hg (0,1 мг/кв.м.). Впервые получены данные по содержанию адсорбированной (ионной) формы металлов в раковинах моллюсков, которые могут использоваться для оценки потенциального дополнительного поступления металлов из раковин в воду и характеризуют биодоступную форму металлов.

### Литература

- Белое море. Биологические ресурсы и проблемы их рационального использования, 1995 // Исследов. фауны морей, изд. ЗИН РАН, т.42 (50), 248 с.
- Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Солатие Д., Касаткина Н.Е., Леппанен А., 2009. Естественное снижение уровня искусственных радионуклидов в Баренцевом море // ДАН, сер. Биологическая, т. 427, вып. 4 (в печати).
- Сухотин А.А., 1989. Размерно-весовые характеристики и соотношение частей тела беломорских мидий *Mytilus edulis* L. при подвесном культивировании и в естественном поселении // В кн.: Экологические и физиологические исследования беломорских гидробионтов. Ред. А.В. Ересковский и В.В. Хлебович, Изд. ЗИН АН СССР, с.45–55.
- Berger V., S. Dahle, K. Galaktionov, X. Kosobokova, A. Naumov, T. Rat'kova, V. Savinov, T. Savinova, 2001. White Sea. Ecology and Environment. Dersavets Publisher, St. Petersburg-Tromsø. 158 p.
- Blackmore G., Morton B., Huang Z.G., 1998. Heavy metals in *Balanus amphitrite* and *Tetracita squamosa* (Crustacea: Cirripedia) collected from the coastal waters of Xiamen, China // Marine Pollution Bulletin, V.36. P. 32–40.
- Godberg E.D., 1975. The mussel Watch – a first step in global marine monitoring // Marine Pollution Bulletin, V.6. P. 111–119.
- Laane R.W.P.M., 1992. Background concentrations of natural compounds in rivers, sea water, atmosphere and mussels // Report DGW-92.033, Tidal Waters Division, Ministry of transport, public works and water management. The Hague. 84 P.

### ЛЕЩ ОЗЕР КАРЕЛИИ (ОЗ.СЯМОЗЕРО, ВЕДЛОЗЕРО, КОНЧЕЗЕРО)

И.М. Дзюбук

Петрозаводский государственный университет, г.Петрозаводск, Россия  
e-mail: ikrup@petrsu.ru

Лещ является одним из промысловозначимых видов озер Карелии, хотя специализированного промысла его не ведется. На Онежском озере в прошлом веке уловы леща составляли 2,9–25,5 т (0,7–1,2% от общего вылова рыб), на озере Сямозеро колебались в пределах 2,0–7,0 т. (2,7–5,9 %). Этот вид является излюбленным объектом любительского рыболовства. Встречается лещ почти во всех озерах и реках южной Карелии и в некоторых водоемах северной ее части. Обитает лещ в Ведлозере, в системе Кончезерских озер он есть в Укшезере, Кончезере, в единичных экземплярах встречается в Мунозере, а в Пертозере отсутствует. Однако, О.И.Куккарин (1985) указывала на возможное его присутствие в водоеме. В наших исследованиях Кончезерской группы озер, в 2004 году был выловлен единичный экземпляр леща в протоке между озерами Пертозеро и Кончезеро.

Достигает лещ 50 см длины и более 5 кг массы, обычно до 1 кг. Продолжительность жизни его составляет 20–26 лет. Предпочитает озера и медленно текущие реки, придерживаясь глубин до 10–15 м и более 20 м (в крупных озерах). По характеру питания – бентофаг (личинки насекомых, моллюски, черви, донные ракообразные и др.), неполовозрелый лещ питается еще и планктонными организмами, а крупный лещ может поедать и молодь рыб. Половой зрелости достигает на 5–7 году жизни. Нерест в июне при температуре 13–18°C. Икра откладывается в зарослях водной растительности, на глубине менее 1 м. Плодовитость 100–300 тыс. икринок (Ивантер, Рыжков, 2004).

В результате наших исследований был проведен анализ размерно-весового, полового, возрастного состава популяций леща озер Сямозеро, Ведлозеро и Кончезеро. Эти водоемы имеют важное рыбохозяйственное значение, и лещ является одним из основных промысловых видов на этих озерах, занимая определенное место в структуре уловов.

Сямозеро – крупный водоем (площадь водного зеркала – 266 км<sup>2</sup>, наибольшая длина 24,6 км, ширина – 15,1 км), относящийся к мезотрофному типу озер. В последние годы произошло улучшение газового режима озера. В озере отмечены благоприятные кормовые условия для рыб планктофагов и стабильность в развитии бентоса (главная роль принадлежит – личинкам хирономид, олигохетам и моллюскам). Всего для озера выявлено 20 видов рыб, в основе уловов – ряпушка, корюшка, щука, плотва, лещ, елец и др. Было выявлено, что в общем составе ихтиофауны озера лещ составляет малую долю. На состояние популяции леща Сямозера оказали влияние длительный запрет на его вылов и эвтрофирование (Экосистема Сямозера, 2002).

В опытных уловах на озере Сямозеро (близ залива Лахта) в мае-июне 2007 года лещ был представлен 5 возрастными группами от 6+ до 10+. Основу уловов составляли 8+-9+ летки. Размеры леща были в пределах 30–35см, масса – 473,3–790,0г. Соотношение самок и самцов в целом составляло 1:1. По размерно-весовым параметрам самки не отличались от самцов. Результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Биологические показатели леща Сямозеро, май 2007 г.**

Параметры	Возраст, лет				
	6+	7+	8+	9+	10+
	Общее				
Масса, г	473,3±17,8	486,7±8,9	560,0±35,0	660,0±35,0	790,0±20,1
Длина, см	29,3±0,6	29,5±0,3	30,1±1,1	33,0±1,2	35,0±1,0
n, %	20	20	26,7	26,6	6,7
	Самки				
Масса, г	500,0±7,6	480,0±3,0	590,0±1,1	680,0±20,0	790,0±20,1
Длина, см	30,0±0,2	30,0±0,2	30,5±0,3	33,8±0,4	35,0±1,0
n, %	14,3	14,3	14,3	42,8	14,3
	Самцы				
Масса, г	460±10,0	490,0±10,0	550,0±33,3	600,0±0	-
Длина, см	29±0,5	29,3±0,3	30,0±1,3	30,5±0	-
n, %	25	25	37,5	12,5	-

Ведлозеро – небольшой мелководный водоем (общая площадь 59,3 км<sup>2</sup>, наибольшая длина 17,7 км, ширина 6,1 км), расположенный в южной части Карелии. В озере отмечалось высокое содержание кислорода (8,5–9,1 мг/л). Для озера характерны высокая продуктивность зоопланктона, однообразие качественного состава донной фауны (тендипедида, хаборус и олигохеты). Выявлено 11 видов рыб: ряпушка, щука, плотва, укля, лещ, синец, налим, окунь, ерш, судак и пелядь. Судак и пелядь искусственно разводились в начале 1960–1970-х годах прошлого века, затем стали редки в уловах. До середины прошлого столетия ловились подкаменщик, голянь, сиг, форель и лосось. (Александрова, 1966). Лещ – один из основных промысловых видов, распространен по всему озеру.

В наших исследованиях на озере Ведлозеро (р-н между ур.Корбинаволоок и п-овом Пананниеми) в апреле-мае 2008 года лещ (20,7% от общего улова), наряду со щукой (28,3%), окунем (22,6%) составлял основу уловов. На втором месте были плотва (11,3%) и налим (13,2%), единично попадали судак (1,8%) и язь (1,8%). Лещ был представлен особями возраста от 4+ до 13+ лет. Наибольшее количество особей было возраста 7–9-лет (6+–8+). Соотношение самок и самцов составляло 1:5, с преобладанием самцов. Масса тела леща была в пределах 200–1200г, длина – 26–44,5см. В сравниваемых группах самки и самцы достоверно не отличались по размерно-весовым параметрам (табл.2).

Таблица 2

**Биологические показатели леща Ведлозера (апрель-май, 2008 г.)**

Параметры	Возраст, лет								
	4+	5+	6+	7+	8+	9+	10+	12+	13+
	Общее								
Масса, г	200±0	220±0	288,0±18,4	455,7±2,3	543,3±45,2	620±0	770±30	980±28	1200±0
Длина, см	26±0	26,5±0,2	29,4±0,5	33,8±1,4	35,4±1,7	36,7±1,1	38,5±1,5	40,3±1,8	44,5±0
n, %	3,2	3,2	16,1	22,6	29,0	6,5	6,5	9,7	3,2
	Самцы								
Масса, г	200±0	220±0	297,5±8,8	455,7±25,3	477,8±44	620±0	770±30	666,7±0,0	–
Длина, см	26±0	26,5±0,2	29,5±0,5	33,8±1,4	30,7±1,6	36,5±0,1	38,5±1,5	29,7±2,5	–
n, %	3,8	3,8	15,5	26,9	30,8	3,8	7,7	7,7	–
	Самки								
Масса, г	–	–	250	–	500±0,1	620	–	1000	1200±0
Длина, см	–	–	29	–	37,5±7,4	36	–	44	44,5±0
n, %	–	–	20,0	–	20,0	20,0	–	20,0	20,0

Кончезеро, относительно небольшой водоем (общая площадь озера 46,0 км<sup>2</sup>, максимальная длина озера 22,5 км, максимальная ширина 1,9 км), относящийся к мезотрофному типу. В озере обитает 17 видов рыб. Основу уловов составляют щука, ряпушка, плотва, окунь. До середины прошлого столетия лещ не обитал в озере Кончезеро. В 1955 году в озеро Карелгосрыбводом были выпущены производители леща (646 экз.), где они нашли благоприятные условия для обитания (Александрова и др., 1959). Однако, есть мнение, что производители леща могли и раньше проникать в Кончезеро по озерно–речной системе через озеро Укшезеро и Косалминскую протоку. А отсутствие леща в Кончезеро до 1955 года объясняется чрезмерным выловом в течение длительного времени, что было типично на тот период для северо-западных водоемов. Таким образом, в результате интенсивного мелкочейного неводного лова лещ был замещен плотвой, окунем и ершом (Тюрин, 1957). В период 1955–1995 годов произошло увеличение запасов леща в водоеме. Однако, в настоящее время ситуация опять изменяется в худшую сторону. Снизилась эффективность воспроизводства леща на основных местах нереста (Чупская, Западная и Паднаволоцкая губы) из-за большого скопления орудий лова. Увеличение интенсивности вылова леща в последнее 10-летие привело к истощению его запасов в водоеме. В настоящее время он вылавливается в единичных экземплярах.

До настоящего времени лещ имел хорошие условия для нагула, что способствовало высокому темпу его линейного и весового роста, отражалось на показателях упитанности, которые были выше 2 (табл. 3). В уловах были представлены рыбы от 5+ до 15+, основу составляли 9–10летки (8+–9+). Масса леща была в пределах 300—1850г, длина – 25,3–44,0см. В возрасте 9+ лещ уже достигал длины 38 см и был более 1 кг массой, что значительно больше, по сравнению с лещем озер Сямозеро и Ведлозеро. Ранее было отмечено, что лещ Кончезера отличается более высоким темпом роста, чем лещ озер Пяозеро, Крошнозеро, Святозеро, Выгозеро и др. (Куккарина, 1980). В настоящее время необходимы интенсивные меры по увеличению запасов леща в озере Кончезеро, а в дальнейшем – меры по поддержанию численности.

Таблица 3

**Биологические показатели леща Кончезера (Чухарев, 1995)**

Показатели	Возраст, лет								
	5+	6+	7+	8+	9+	10+	11+	13+	15+
Масса, г	300	450	820	950	1200	1350	1600	1700	1850
Длина, см	25,3	28,2	33,6	35,8	38,7	40,1	41,9	43,2	44,0
n, %	5	10	14	21	20	15	8	5	2

Лещ является одним из основных промысловых объектов на озерах Сямозеро, Ведлозеро и Кончезеро. В этих водоемах он находит благоприятные условия для обитания и занимает определенную экологическую нишу. Изменение условий обитания леща в результате процессов эвтрофирования, загрязнения и зарастания нерестилищ, бесконтрольного вылова или наоборот длительного запрета на лов, приводят к изменениям его линейно-весового роста, возрастной структуры, плодовитости и др. Уменьшается численность популяций леща на водоемах, что по принципу обратной связи, отражается и на уловах этого ценного промыслового вида.

Учитывая, что лещ был и остается излюбленным объектом промысла на водоемах Карелии, планируется продолжение научных исследований этого вида, с учетом антропогенной нагрузки на водоемы и изменений среды обитания. На основе полученных результатов возможно своевременно принимать меры по стабилизации состояния популяций леща на водоемах Карелии, т.к. от состояния популяций отдельных видов рыб зависит осуществление полноты связей в экосистемах, а значит и их стабильность.

#### Литература

- Александрова Т.Н., Заболоцкий А.А., Макарова Е.Ф., Покровский В.В., Стефановская А.Ф. 1959. Озеро Кончезеро// Озера Карелии. Справочник. Петрозаводск: Госиздат КАССР. С.252–261.  
 Ивантер Д.Э., Рыжков Л.П. 2004. Рыбы. Петрозаводск: ПетрГУ. 176с.  
 Куккарина О.И. 1980.Ихтиофауна озера Кончезера // Биологическое обоснование вселения сиговых рыб в озера Кончезерской группы. Отчет о НИР. Петрозаводск. С.140–187.

Куккарина О.И. 1985. Ихтиофауна и питание рыб озера Пертозера // Оценка биологической продуктивности Карельских озер Кончезерской группы в связи с многолетними климатическими и антропогенными воздействиями. Отчет о НИР. Петрозаводск. С.3–70.

Тюрин П.В. 1957. Биологические основания реконструкции рыбных запасов в северо-западных озерах СССР // Известия ВНИИОРХ. Т.XL. М. С.122–174.

Чухарев Л.Н. 1995. Ихтиофауна озера Кончезера.// Биологические основы повышения продуктивности озер Кончезерской группы в условиях антропогенных воздействий. Отчет о НИР. Петрозаводск. С.143–150.

Экосистема Сямозера (биологический режим, использование). 2002. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. 119с.

## СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА СТРУКТУРЫ СООБЩЕСТВ ПАЗАРИТОВ ЕРША *GYMNOCEPHALUS CERNUUS* (LINNAEUS, 1758)

Г.Н. Доровских, В.Г. Степанов

ГОУ ВПО «Сыктывкарский государственный университет», г. Сыктывкар, Россия  
e-mail: dorovsk@syktsu.ru

### Введение

Изучение зависимости паразитофауны рыб от сезона года начаты в 1920–х годах (Быховский, 1929), а в 1940–х уже появились обобщения полученных результатов (Догель, 1947). Исследование закономерностей формирования структуры паразитарных сообществ в течение года начато в 1990–х годах (Kennedy, 1997; Пугачев, 1999; Жохов, 2003; Русинек, 2005; 2007). Установлено, что сообщества ихтиопаразитов в течение года последовательно проходят состояния формирования, сформированности и разрушения своей видовой структуры (Доровских, 2002; Доровских, Голикова, 2004; Голикова, 2005; Степанов, 2007).

Поскольку этот вывод сделан на материалах по сообществам паразитов представителей бореального предгорного фаунистического комплекса, голяна *Phoxinus phoxinus* (L.) и хариуса *Thymallus thymallus* (L.), то было решено уточнить характеристики сообщества паразитов в разные сезоны года на примере сообщества паразитов ерша *Gymnocephalus cernuus* (L.), входящего в состав бореального равнинного фаунистического комплекса.

### Материал и методы

Ерш возрастом 2–2+ (всего 120 экз.) отловлен в 2007 г. из курьи напротив д. Парчег (Сыктывдинский р-н, Республика Коми), находящейся в 31 км от г. Сыктывкара вниз по течению р. Вычегды. Объем каждой выборки – 15 экз. рыб. Сроки сбора материала приведены в подписи к рисунку. Сбор материала произведен по общепринятой методике. Порядок обработки данных по сообществам паразитов рыб, содержание использованных понятий приведены в ряде публикаций (Пугачев, 1999; Доровских, Голикова, 2004).

### Результаты исследования

На протяжении всего срока наблюдений в сообществе паразитов ерша по численности и биомассе доминировал аллогенный специалист *I. Variegatus* (табл. 1,2). Доля аллогенных видов всегда больше 0,6, наибольших значений она достигла в августе–сентябре. Весь период наблюдений аллогенных видов было 2 (*D. spathaceum*, *I. variegatus*) и только в феврале – 3 (*D. spathaceum*, *D. volvens*, *I. variegatus*). В течение года лидерами оставались и виды–генералисты, их доля в сообществе с февраля по декабрь почти не менялась. Низшие значения индекса доминирования Бергера–Паркера отмечены в марте–мае, высшие – в августе и сентябре. Наименьшее значение индекса выравниваемости видов было в августе–сентябре, наибольшее – в марте–июле. Величина индекса Шеннона максимальных величин достигала в марте–мае, далее она закономерно снижалась и опускалась до минимальных значений в сентябре, затем в декабре и феврале вновь увеличивалась. Не оставалось постоянным в сообществе с февраля по декабрь и число групп видов, выделенных по соотношению их биомасс. В июле и августе их было две, в другие месяцы – три. Сумма ошибок уравнений регрессии, отражающая состояние структуры сообщества, наименьшие значения имела в декабре и феврале, наивысшие – в июле (табл. 2).

Таблица 1

## Паразитофауна ерша из бассейна среднего течения р. Вычегды

Виды паразитов	Даты отлова рыбы и объемы выборки							
	Февраль	Март	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Декабрь
	n=15							
<i>Trichodina</i> sp.	+	0	+	0	0	0	0	+
<i>Dermocystidium percae</i> Reichenbach-Klinke, 1950	2(0.13)	1(0.07)	1(0.13)	0	0	1(0.07)	0	1(0.07)
<i>Henneguya creplinii</i> (Gurley, 1894)	3(1.0)	5(8.2)	3(1.6)	9(2.1)	11(2.2)	6(0.8)	1(0.13)	5(0.8)
<i>Dactylogyrus amphibotrium</i> Wagener, 1857	12(3.8)	13(4.8)	14(6.3)	13(3.2)	8(0.8)	3(0.3)	1(0.07)	10(1.8)
<i>D. hemiamphibotrium</i> Ergens, 1956	0	1(0.07)	1(0.07)	0	0	0	0	0
<i>Gyrodactylus longiradix</i> Malmberg, 1957	?(0.9)	2(0.2)	?(0.9)	10(0.7)	0	0	0	?(1.6)
<i>Gyrodactylus cernuae</i> Malmberg, 1957	?(0.3)	2(0.5)	?(7.1)	?(2.8)	2(0.3)	0	0	?(0.5)
<i>Triacnophorus nodulosus</i> (Pallas, 1781), pl.	0	0	0	0	0	1(0.07)	0	0
<i>Proteocephalus cernuae</i> (Gmelin, 1790)	0	2(0.13)	0	0	0	0	0	1(0.07)
<i>Bunodera luciopercae</i> (Mueller, 1776)	2(0.13)	8(1.2)	6(0.7)	8(0.8)	1(0.07)	2(0.3)	7(0.7)	6(0.9)
<i>Phyllodistomum folium</i> (Olbers, 1926)	2(0.13)	2(0.9)	3(0.2)	1(0.07)	0	0	0	1(0.07)
<i>Diplostomum spathaceum</i> (Rudolphi, 1819), larvae	9(1.5)	11(2.5)	11(2.1)	12(1.9)	10(2.3)	11(1.8)	11(1.9)	13(2.3)
<i>D. volvens</i> Nordmann, 1832, larvae	1(0.07)	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ichthyocotylurus variegatus</i> (Creplin, 1825), larvae	15(80.2)	15(44.7)	15(60.8)	14(36.1)	15(14.9)	12(29.7)	15(36.3)	15(54.3)
<i>Camallanus lacustris</i> (Zoega, 1776)	0	1(0.07)	0	0	0	1(0.07)	0	0
<i>Raphidascaris acus</i> (Bloch, 1779), larvae	8(1.5)	6(1.2)	1(0.07)	1(0.13)	2(0.5)	0	1(0.2)	2(0.3)
<i>Neoechinorhynchus rutili</i> (Muller, 1780)	7(0.8)	6(0.7)	4(0.7)	2(0.13)	0	0	0	6(1.13)
Unionidae gen. sp., larvae	14(10.6)	14(11.5)	13(6.3)	3(0.9)	0	1(0.6)	0	10(1.4)
<i>Ergasilus briani</i> Markewitsch, 1932	1(0.07)	3(0.2)	3(0.3)	1(0.07)	1(0.5)	0	1(0.07)	0

Таблица 2

## Характеристики сообщества паразитов ерша из р. Вычегды

Показатели	Дата отлова рыбы					
	Февраль	Март	Май	Июнь	Июль	Август
	n=15					
Общее число:						
видов	14	16	14	12	8	7
особей	1518	1158	1310	726	323	592
Общее значение условной биомассы	399.7	396.8	360.9	204.8	100.7	146.4
Количество видов:						
автотенных	11	14	12	10	6	5
аллотенных	3	2	2	2	2	2
Доля особей видов:						
автотенных	0.191	0.388	0.279	0.215	0.198	0.030
аллотенных	0.809	0.612	0.721	0.785	0.802	0.970
Доля биомассы видов:						
автотенных	0.248	0.569	0.364	0.328	0.399	0.226
аллотенных	0.752	0.431	0.636	0.672	0.601	0.774
Количество видов-специалистов	3	5	4	3	2	1
Доля видов-специалистов:						
особей	0.049	0.074	0.164	0.128	0.050	0.002
биомассы видов	0.044	0.070	0.142	0.106	0.036	0.006
Количество видов-генералистов	11	11	10	9	6	8
Доля видов-генералистов:						
особей	0.951	0.926	0.836	0.872	0.950	0.992
биомассы видов	0.956	0.930	0.858	0.894	0.964	0.994
Доминантный вид:						
по числу особей	I. variegatus	I. variegatus	I. variegatus	I. variegatus	I. variegatus	I. variegatus
по значению биомассы	I. variegatus	I. variegatus	I. variegatus	I. variegatus	I. variegatus	I. variegatus
Характеристика доминантного вида	ал/г*	ал/г	ал/г	ал/г	ал/г	ал/г
Индекс Бергера-Паркера:						
по числу особей	0.793	0.579	0.636	0.745	0.697	0.883
по биомассе	0.743	0.417	0.623	0.651	0.551	0.747
Выравненность видов:						
по числу особей	0.322	0.522	0.448	0.417	0.521	0.246
по биомассе	0.387	0.587	0.533	0.498	0.545	0.428
Индекс Шеннона:						
по числу особей	0.850	1.447	1.182	1.035	1.083	0.541
по значениям биомассы	1.021	1.626	1.405	1.237	1.133	0.940
Сумма ошибок уравнений регрессии	0.214	0.295	0.335	0.274	0.434	0.299
* ал – аллотенный вид, г – вид-генералист.						

Таблица 2 (продолжение)

Итак, сообщество паразитов ерша в июле–сентябре характеризуется самым низким видовым разнообразием, наименьшими значениями числа особей паразитов и их биомассы. Величины сумм ошибок уравнений регрессии в этот период имеют наиболее высокие значения, что свидетельствует о нарушении в сообществе количественных отношений видов. В сообществе паразитов ерша в июле и августе отмечены две группы видов, в сентябре – 3. В последнем случае 1–я группа образована только метацеркариями *I. variegates*. В эти три месяца дактилогирусы и эргазилусы заканчивают яйцекладку и отмирают. В это же время снижают свою численность и исчезают гиродактилюсы, глохидии, *P. folium* и скребни, у *B. luciopercae* появляются особи новой генерации, начинается процесс заражения метацеркариями *Diplostomum* и *Ichthyocotylurus* рыбы. Это обуславливает увеличение числа особей паразитов и их биомассы от июля к сентябрю.

В декабре, феврале и марте в структуре сообщества паразитов выделяется три группы видов. В декабре в состав 1-й группы входят *I. variegatus* и *G. longiradix*, в феврале *I. variegates* и *N. rutili*, в марте *I. variegates*, *H. creplini*, *N. rutili*, глохидии и *D. amphibotrium*. В эти месяцы возрастают видовое разнообразие сообщества паразитов ерша, число их особей и биомасса, появляются гиродактилюсы, глохидии, молодые особи дактилогирусов (хитиноидные структуры уже сформированы) и скребней (в декабре длина тела червей до 0.3 мм, в феврале–марте – 0.5–1.0 мм). В декабре у *B. luciopercae* найдены только молодые особи, в феврале–марте – у червей этого вида в матке появляются яйца. У *P. folium* в декабре отмечены только отмирающие особи, а в феврале–марте – молодые. В декабре *E. briani* не обнаружен, в феврале–марте рачки были без яйцевых мешков. Повышается зараженность метацеркариями *Diplostomum* и *Ichthyocotylurus* ерша.

В мае структура сообщества паразитов ерша напоминает таковую в марте, но порядок расположения видов в группах меняется. Так 1–я группа в мае, как и в марте, образована пятью видами, но их состав и порядок расположения уже иной (*I. variegates*, *N. rutili*, *G. cernuae*, *H. creplini*, *D. amphibotrium*). В мае скребни (длина тела до 1.0 мм) зрелые, рачки с яйцевыми мешками, среди дактилогирусов встречены яйцекладущие особи, у червей *B. luciopercae* матки буквально забиты яйцами, *P. folium* по-прежнему представлен незрелыми особями, но с размерами тела большими, чем в феврале–марте.

Рассматриваемое сообщество паразитов ерша в период с декабря по май состоит из наибольшего числа особей и характеризуется наивысшими значениями биомассы и видового разнообразия. Ход описанных выше изменений в сообществе паразитов ерша с декабря по май сопровождается постепенным ростом суммы ошибок уравнений регрессии.

В июне структура сообщества также образована тремя группами видов, но в 1–ю группу входит уже на один вид меньше и порядок расположения оставшихся изменяется (*I. variegates*, *H. creplini*, *D. amphibotrium*, *G. cernuae*). В это время яйцекладка отмечена у дактилогирусов, *B. luciopercae*, скребней, рачки с яйцевыми мешками, снижается зараженность глохидиями ерша. Сумма ошибок уравнений регрессии, отражающая сбалансированность биомасс входящих в состав сообщества видов, падает до 0.274.

### Обсуждение результатов

Итак, как и в предыдущих работах посвященных решению этого вопроса (Доровских, 2002; Доровских, Голикова, 2004; Голикова, 2005; Степанов, 2007), зарегистрированы три, плавно переходящих одно в другое, состояния паразитарного сообщества.

Первое отмечено в июле–сентябре. Оно отличается средними, по сравнению с другими периодами, значениями всех индексов видового разнообразия и наименьшим числом видов. Сообщество образовано 2–я и в сентябре 3–я группами видов. В последнем случае 1–я их группа образована только метацеркариями *I. variegates*. Паразиты представлены зрелыми, яйцекладущими, отмирающими особями и личиночными стадиями паразитов, использующих рыбу в качестве промежуточного хозяина. В июле у некоторых их видов появляются особи нового поколения. Это сообщество в состоянии разрушения (упрощения) своей видовой структуры.

Второе состояние сообщества паразитов ерша существовало с декабря по март. В это время оно характеризовалось наибольшими значениями видового разнообразия паразитов, числа их особей и биомассы, ростом до максимальных величин индексов Шеннона и выравниваемости видов, высокими, но ниже чем в предыдущий период, значениями индекса доминирования, наличием в своей структуре трех групп паразитов, выделенных по соотношению условных биомасс видов. Сообщество большей частью состоит из молодых особей и личиночных стадий паразитов, у гиродактилюсов имелись зародыши в матке. Это сообщество в состоянии формирования (усложнения) своей видовой структуры.



Третье состояние рассматриваемого сообщества наблюдалось с мая по июнь. Оно отличается наличием в структуре, выделенной по соотношению условных биомасс составляющих его видов, трех групп паразитов, различающихся по аллометрическим показателям. Видовое разнообразие, число особей и биомасса паразитов снижаются от мая к июню и оно ниже, чем в феврале. Паразиты, в основном, представлены зрелыми, яйцекладущими особями и личиночными стадиями видов, использующих рыбу как промежуточного хозяина. Это сообщество с сформированной видовой структурой.

Таким образом, и при сезонных изменениях сообщества паразитов ерша также выделяются три его состояния. Они приурочены к срокам отличным от таковых для сообществ кишечных гельминтов рыб умеренной зоны, а также сообществ паразитов голяна и хариуса из бассейнов рек Вычегда и Печора. Формирование сообществ кишечных гельминтов угря (*Anguilla anguilla*) в Англии (Kennedy, 1997) и язя (*Leuciscus idus*) Рыбинского водохранилища (Жохов, 2003) начинается в начале лета. В мае их видовое богатство минимально, в августе – максимально. В условиях бассейнов рек Вычегда и Печора видовое богатство сообществ паразитов голяна и хариуса максимально в июне, минимально – в августе. Формирование их видовой структуры отмечено в течение осенне-зимне-весеннего периода года, а разрушение в июле–сентябре (Доровских, Голикова, 2004; Степанов, 2007). У ерша наибольшее число видов паразитов отмечено в марте, наименьшее – в сентябре. Формирование видовой структуры сообщества паразитов ерша осуществляется в течение зимне-весеннего периода года, а разрушение в июле–сентябре.

Работа выполнена в рамках программы «Развитие научного потенциала высшей школы на 2009–2010 годы» и тематического плана Минобрнауки Российской Федерации.

#### Литература

- Быховский Б.Е., 1929. Trematodes рыб окрестностей г. Костромы // Тр. Ленингр. общ. естествоисп. Т. 59, № 1. С. 13–27.
- Голикова Е.А., 2005. Экология паразитов голяна обыкновенного и их сообществ в условиях малых рек бассейна Вычегды: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар: ИБ КНЦ УрО РАН. 22 с.
- Догель В.А., 1947. Курс общей паразитологии. Л.: Учпедгиз. 372 с.
- Доровских Г.Н., 2002. Паразиты пресноводных рыб северо-востока Европейской части России (фауна, экология паразитарных сообществ, зоогеография): Автореф. дисс. ... доктор. биол. наук. СПб.: ЗИН РАН. 50 с.
- Доровских Г.Н., Голикова Е.А., 2004. Сезонная динамика структуры компонентных сообществ паразитов голяна речного *Phoxinus phoxinus* (L.) // Паразитология. Т. 38, вып. 5. С. 413–425.
- Жохов Е.А., 2003. Сезонная динамика структуры сообщества кишечных гельминтов язя (*Leuciscus idus* L.) в Рыбинском водохранилище // Экология. № 6. С. 454–458.
- Пугачев О.Н., 1999. Паразиты пресноводных рыб Северной Азии (фауна, экология паразитарных сообществ, зоогеография): Автореф. дисс. ... доктор. биол. наук. СПб.: ЗИН РАН. 50 с.
- Русинек О.Т., 2005. Паразиты рыб озера Байкал: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. СПб.: ЗИН РАН. 48 с.
- Русинек О.Т., 2007. Паразиты рыб озера Байкал (фауна, сообщества, зоогеография, история формирования). М.: Т-во научных изданий КМК. 571 с.
- Степанов В.Г., 2007. Экология паразитов голяна *Phoxinus phoxinus* (L.) и хариуса *Thymallus thymallus* (L.) и их компонентные сообщества в бассейнах рек северо-востока европейской части России: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Борок: ИБВВ. 26 с.
- Kennedy C.R., 1997. Long-term and seasonal changes in composition and richness of intestinal helminth communities in eels *Anguilla anguilla* of a isolated English river // Folia Parasitologica. Vol. 44. P. 267–273.

## МОРФОБИОЛОГИЧЕСКИЕ АДАПТАЦИИ ГОРБУШИ В БЕЛОМ МОРЕ

Е.А. Дорофеева

Учреждение Российской академии наук Зоологический институт РАН,  
г. Санкт-Петербург, Россия  
e-mail: salmo@zin.ru

История акклиматизации лососевых в географически удаленных водоемах знает много примеров неудачных интродукций, которые не привели к натурализации этих рыб. В связи с этим, большой интерес для науки представляют случаи удачных вселений, сопровождающихся возникновением стойких самовоспроизводящихся популяций, достигающих промысловой численности.

Попытки акклиматизации горбуши в разных регионах мира предпринимались неоднократно. Однако результаты их противоречивы. Так, на американском континенте было проведено вселение горбуши в бассейны рек Атлантического океана (Lear, 1975). Полная натурализация произошла только после интродукции нечетной линии горбуши в Великие Озера в 1955 г., где она образовала живую форму. Вселение четной линии положительных результатов не дало (Hoard, 1991).

В России о возможности акклиматизации России на Европейском севере высказывался еще в 19 в. Карл Бэр, что было обусловлено бедностью ихтиоценозов в этом регионе, а также постепенным падением численности самого ценного вида – семги.

Горбуша была избрана в качестве акклиматизанта в силу своих уникальных среди лососевых особенностей. Этот вид имеет самый короткий двухлетний жизненный цикл и самый высокий темп роста и массонакопления (за один год нагула в море горбуша достигает массы 1.2–3 кг). Нерест проходит в значительно более ранние сроки, чем у семги. После выхода из бугров молодь задерживается в пресной воде на короткое время (1–2 мес.) Последние две особенности в значительной мере выводили горбушу из конкуренции с семгой. У горбуши снижен «инстинкт дома» (хоминг), что позволяет ей заселять в пределах ареала многочисленные реки, в том числе те, в которых популяции семги по какой-либо причине утрачены. У горбуши есть уникальная среди лососевых особенность – образовывать репродуктивно изолированные поколения смежных лет, т.е. заходящих на нерест в четные и нечетные годы. Каждая из этих линий имеет ряд характеризующих ее экологических и генетических отличий и, таким образом, формально эти линии ведут себя как самостоятельные виды. При этом четное поколение характеризуется в естественном ареале более поздним заходом на нерест и более низкой численностью.

Кариологические данные и генетическая структура популяции горбуши свидетельствуют о большей специализации четной линии по сравнению с нечетной (Гордеева, 2003; Dorofeyeva et al., 2004). Кроме того, согласно генетическим исследованиям, высказано мнение о значительных различиях между локальными стадами горбуши (Алтухов, 1974), которые подтверждается и наблюдениями морфобиологических различий между ними (Воловик, 1967; Иванков, 1967; Енютина, 1972).

Акклиматизация горбуши в бассейне Белого и Баренцева морей насчитывает более 50 лет. Массовые перевозки икры горбуши с Дальнего Востока из южной части естественного ареала, преимущественно из рек Сахалина, начались в 1956 году и продолжались с перерывами до 1980 года. В эти же годы проводилась инкубация икры от уже образовавшихся местных производителей. В первые годы после вселения горбуша начала осваивать огромный ареал. Производители стали заходить в реки от побережья Норвегии до Печоры. К сожалению, несмотря на высокие возвраты горбуши в первые годы после интродукции (в 1960 году 76,3 тыс. экз., в 1973 – 143,6 тыс. экз., в 1975 – 103,9 тыс. экз., в 1977 – 107,7 тыс. экз.), в последующие годы началось падение ее численности и лишь в некоторые, в основном нечетные годы, подход производителей превышал 2–3 тыс. экз., а в четные годы практически был равен нулю.

Было установлено, что в основе неудач интродукции горбуши с Сахалина на Европейский Север России было значительное замедление темпа оогенеза молоди в новом ареале (Сакун, 1965; Пахомова, Хлевная, 1978; Персов и др., 1983). У молоди беломорской горбуши, в отличие от сахалинской, в период миграции в море большинство ооцитов не достигали состояния превителлогенеза, а находились преимущественно на этапе ранней профазы мейоза. Замедление раннего гаметогенеза приводило к более позднему началу периода вителлогенеза ооцитов у самок и определяло их возврат на нерест в такие сроки, при которых температурные условия были неблагоприятными для развития молоди. Таким образом, именно температурные условия в новом ареале явились основным фактором, препятствующим акклиматизации горбуши сахалинской популяции. С 1985 года начался второй этап акклиматизации. Была завезена икра горбуши нечетной линии из Магаданской области, т.е. из северной более суровой по температурным условиям части естественного ареала. В результате численность горбуши в нечетные годы значительно увеличилась (уловы варьировали от 34 до 156 тыс. экз.). Завезенная в 1998 году из той же Магаданской области икра горбуши четной линии к увеличению численности производителей не привела (Рис. 1). В связи с этим в настоящее время есть основание рассматривать нечетную линию магаданской популяции горбуши в качестве успешного донора для интродукции в бассейн Белого моря, который нашел в новом ареале условия для нагула и воспроизводства, что с очевидностью подтверждает представления о наличии генетически обособленных локальных стад горбуши в бассейне Тихого океана. Следует отметить также, что судить об эффективности акклиматизации горбуши в Белом море возможно лишь при рассмотрении данных второго этапа интродукции (т.е. с 1985 г.), поскольку предыдущее вселение из юж-

ных районов ареала было явно неудачным, и совместное рассмотрение их может привести к ошибочным выводам. Это же относится к эффективности вселения четной и нечетной линии горбуши, поскольку только последняя дала положительный результат.

На основании изучения особенностей беломорской горбуши (в основном использовались материалы о нечетной линии) с применением разных методов исследования, проведенных в 2001–2007 гг. на выбранных в качестве модельных реках Кереть и Умба, были получены данные, свидетельствующие об адаптивных сдвигах по ряду морфобиологических признаков: линейные размеры, масса тела, плодовитость, особенности нерестовой миграции, состояние пластических, меристических и остеологических признаков, состояние половых желез у производителей и молоди (Dorofeyeva et al., 2004; Дорофеева и др. 2005, 2007; Алексеев и др., 2005, 2008). В данной работе подведены итоги проведенного исследования.

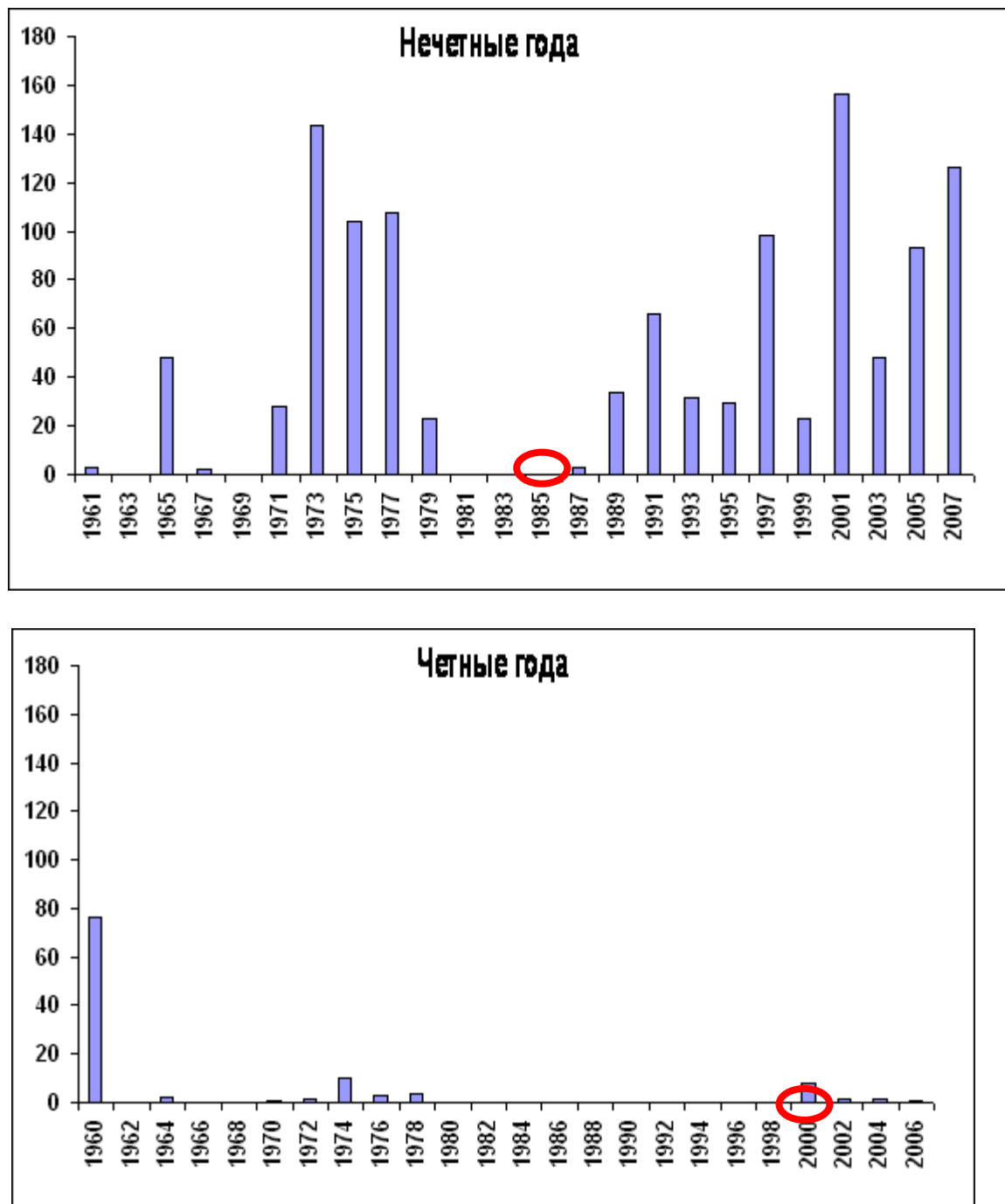


Рис. 1. Уловы горбуши в бассейне Белого моря (тыс. экз.)

При сравнении некоторых морфобиологических признаков горбуши из бассейна Белого моря с показателями горбуши из нативного ареала (река Ола, Магаданская обл.) отмечены существенные различия (Табл. 1).

Таблица 1

**Морфобиологические признаки горбуши рек Ола**  
(Магаданская обл.) и Кереть (респ. Карелия, Белое море)

Признак	р. Ола *	р. Кереть
длина взрослых самок, см 2001 г. 2003 г.	47,3 ± 0,5	46,9 ± 0,35 46,8 ± 0,33
вес взрослых самок, кг 2001 г. 2003 г.	1,10 ± 0,06	1,41 ± 0,04 1,34 ± 0,32
сроки ската молоди	начало мая – конец июня	начало июня - середина июля
сроки массовой нерестовой миграции взрослых рыб (нечетное поколение)	15 июля – 5 августа	10 июля – 10 августа
количество дней с нулевой температурой воды	150	180
пребывание эмбрионов и личинок в нерестовых буграх, сут	270–300	290–320
плодовитость самок (нечетное поколение) 2001 г. 2003 г.	1537	1758 2018

\*данные Н. В. Гордеевой, 2003 г.

В новом регионе обитания горбуша сохранила присущие ей в нативном ареале основные характеристики нерестового хода, такие как волнообразная динамика миграции, увеличение к концу хода доли, как самок, так и более крупных производителей и другие. Установлено, что к началу августа в море горбуша практически полностью перестает питаться, так, что относительная масса пищеварительного тракта с пищей снижается до 0,5%. В то же время относительная масса яичников последовательно увеличивалась и достигла к началу августа  $\frac{1}{4}$  общей массы тела, что характерно для самок горбуши непосредственно перед нерестом. Дефинитивных размеров достигала и масса ооцитов. Таким образом, все исследованные производители потенциально готовы были нереститься до 15 сентября, т.е. в сроки, которые согласно проведенным ранее исследованиям (Дягилев, Маркевич, 1979), являются благоприятными для последующего выживания и развития молоди (Dorofeyeva et al., 2004).

В настоящее время у всей исследованной молоди самок из реки Сояны, независимо от их длины и массы, к началу покатной миграции в яичниках уже сформирована генерация сходных по размеру ооцитов периода превителлогенеза. Таким образом, состояние гонад у самок в период покатной миграции не отличается от состояния гонад у молоди горбуши из рек Сахалина и Итурупа (Зеленников, Федоров, 2005). Следовательно, у нечетной линии беломорской горбуши, не происходит замедления темпа раннего гаметогенеза, и нерест этих самок будет происходить в более ранние сроки (Дорофеева и др., 2007). Из этого следует один важный вывод – на протяжении 10 поколений (после последнего завоза икры нечетной линии из Магаданской области) в результате естественного отбора в популяции беломорской горбуши сохранились, в основном, ранненерестующие особи, т.е. произошла саморегуляция.

Сравнительные исследования пластических признаков беломорской популяции четной и нечетной линий демонстрируют сдвиги в ее морфологическом облике. Еще на первом этапе акклиматизации было отмечено (Суркова, 1970), что уже через 3–5 поколений беломорская горбуша стала иметь меньше позвонков и чешуй в боковой линии, у нее уменьшилась голова и соответственно ее пропорции. Результаты анализа 17 пластических признаков четной и нечетной популяций, проведенного на последнем этапе акклиматизации (2001–2003 гг.), также свидетельствуют о существенных сдвигах в их морфологическом облике по сравнению с рыбами из нативного ареала, причем сдвиги более выражены у четной линии и, по-видимому, инадаптивны (как результат катастрофиче-

ского отбора), в то время как нечетная линия на фоне сравнительно высокой численности демонстрирует процесс адаптации к новым условиям (Гордеева, 2003). При этом необходимо учитывать, что некоторая доля изменений морфологических признаков связана с деятельностью рыбоводных заводов и с гибридизацией между вновь вселенной магаданской популяцией и несомненно существующего небольшого числа производителей от предыдущего вселения горбуши из рек Сахалина. Пластические и некоторые меристические признаки беломорской горбуши сахалинского и магаданского происхождения имеют ряд существенные различий, и в настоящее время не представляется возможным определить степень влияния, оказанного потомками первой волны интродукции на формирование облика современного стада, с одной стороны, и, с другой стороны, изменения его под действием новых условий существования (Табл. 2).

Таблица 2

**Сравнительная характеристика морфологических признаков беломорской горбуши «сахалинского» и «магаданского» происхождения**

Признак	*«Сахалинская» 1965г. р. Сидоровка, n=50	«Магаданская» 2005г. р. Кереть, n=65
Длина тела (см)	36-51	39-52
Чешуй в LL	156-185 (169)	150-176 (169)
В % длины тела		
Антедорсальное расстояние	39-49 (44,4)	41-48 (46,4)
Антеанальное расстояние	61-68 (63,4)	65-73 (61,2)
Высота D	8-12 (9,1)	10-13 (11,7)
Высота A	8-10 (7,8)	9-11 (10,5)
В % длины головы		
Длина рыла	24-38 (29,1)	24-30 (26,9)
Диаметр глаза	7-16 (11,5)	12-15 (14,1)

\* По данным Е.И. Сурковой (1970)

Остеологические исследования беломорской горбуши ранее не проводились. Остеологическая изменчивость между локальными стадами у тихоокеанских лососей выражена сравнительно слабо, четкие клины отсутствуют, но определенные тенденции все-таки существуют (Горшков, 1979). Особенно информативными являются остеологические признаки, на которых в значительной мере основана классификация дальневосточных лососей: сошник, язычная кость и супраэтноидеум.

Vomer (Рис. 2А). Форма сошника служит главным остеологическим признаком в систематике лососевых. Головка сошника сравнительно широкая, чаще треугольной формы, передняя ее часть вытянута, рукоятка лодкообразная, боковые края пластинчатые. При сравнении сошников горбуши из разных локальных стад можно отметить изменчивость формы головки и рукоятки. У беломорской горбуши сошники отличаются сравнительно широкой головкой и рукояткой, плавно сужающейся каудально. Эти признаки свойственны горбуше из реки Большой (Камчатка). Наибольшие отличия по форме головки у горбуши из реки Фирсовка (Сахалин).

Linguale (Рис. 2Б). Язычная кость у горбуши сравнительно узкая, наиболее широкая часть ее находится позади зубов, ряды зубов сходятся кпереди. По форме язычная кость беломорской горбуши наиболее сходна с язычной костью горбуши из рек Камчатки, а наибольшие отличия имеются у сахалинской горбуши.

Supraethmoideum (Рис. 2В). Супраэтноидеум относительно широкая кость, в передней части слегка уплотненная, боковые лопасти тонкие, складки на них выражены слабо. На переднем конце кости имеется небольшая головка. Относительная глубина вырезки по заднему краю не более 15–20% общей длины кости. По форме этой кости беломорская горбуша сходна с горбушей из рек Камчатки, а по глубине вырезки с горбушей из реки Анадырь. Наибольшие отличия отмечены у горбуши из реки Фирсовка (Сахалин).

Таким образом, у сформировавшейся в Белом море популяции горбуши проявляются признаки, свойственные другим, как более северным (Анадырь), так и наиболее близким географическим популяциям (Камчатка).

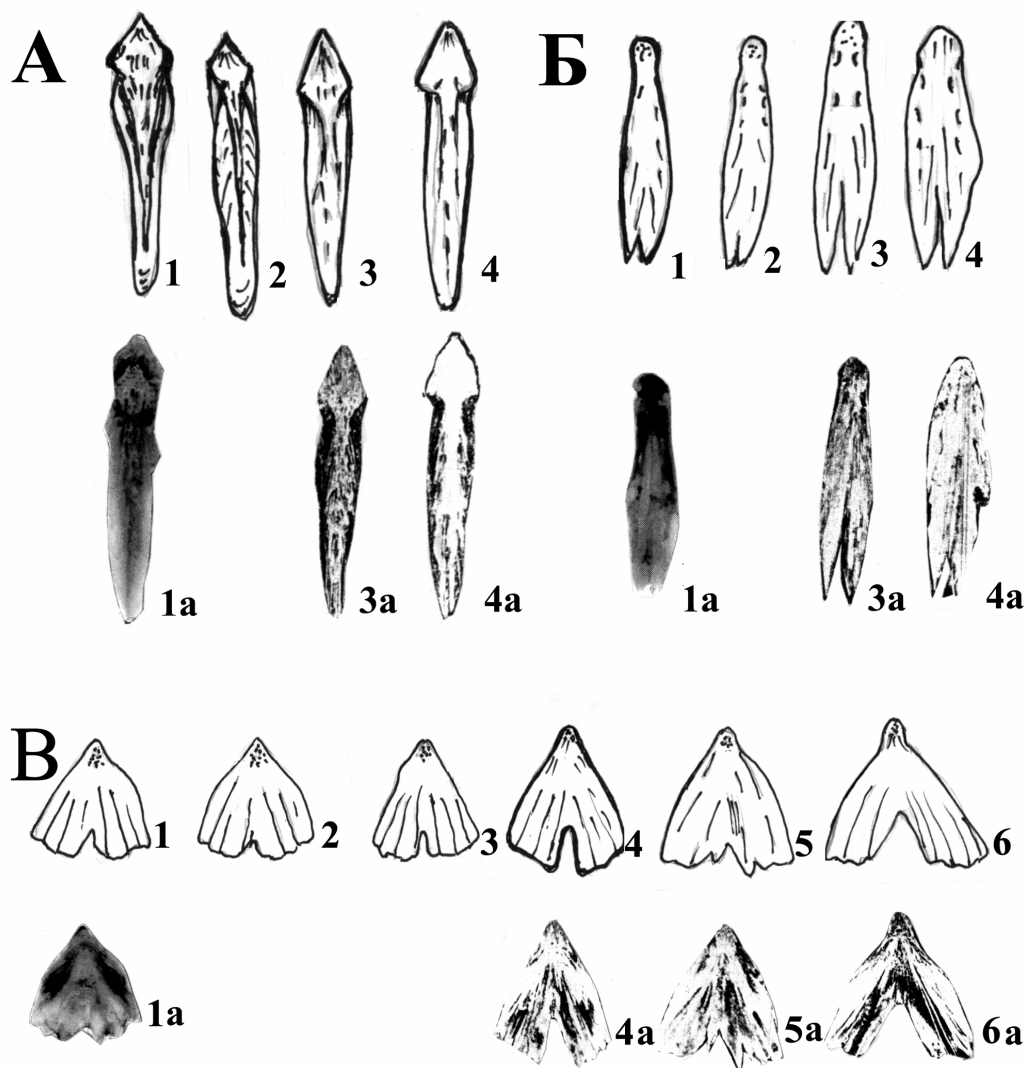


Рис. 2. Морфологические ряды костей черепа *Oncorhynchus gorbuscha* из разных регионов ареала (рисунки и фотографии):

А – vomer: 1, 1а – р. Кереть; 2 – река Умба; 3, 3а – р. Большая (Камчатка); 4, 4а – р. Фирсовка (Сахалин); Б – linguale; обозначения те же; В – supraethmoidale: 1, 1а – р. Кереть (2003 г.); 2 – р. Умба (2004 г.); 3 – р. Кереть (2005 г.); 4, 4а – р. Анадырь; 5, 5а – р. Большая (Камчатка); 6, 6а – р. Фирсовка (Сахалин).

Обращает на себя внимание факт, что у исследованных рыб из разных беломорских рек четной и нечетной линии остеологические особенности очень сходны и в равной мере отличаются от особенностей тихоокеанских стад, что вероятно связано с ограниченным числом донорских популяций.

Большой вклад в познание формирования популяции беломорской горбуши внесли исследования, проведенные в институте Общей генетики РАН (Гордеева, 2003; Гордеева, Салменкова и др., 2003). Выявлены существенные генетические изменения по сравнению донорской популяцией (редукции гетерозиготности и аллельного разнообразия и разнообразия гаплотипов мтДНК). Оказалось, что уровень генетических изменений существенно выше в нечетной линии, чем в четной, что на фоне успешного естественного воспроизводства у первой свидетельствует о процессе адаптации. «Четная линия» горбуши значительно больше специализирована на генетическом уровне, что, возможно, является причиной ее малой эффективности при акклиматизации.

На основании проведенных исследований, можно сделать следующие выводы. Нечетная линия горбуши, акклиматизированная в Белом море на протяжении 10 поколений, сохраняет устойчивые подходы производителей, что может свидетельствовать о формировании ранненерестующей популяции. Нечетная линия горбуши обнаруживает существенные морфобиологические и генети-

ческие сдвиги, которые на фоне устойчивых уловов позволяют судить о протекающих процессах адаптаций формирующейся беломорской популяции горбуши. Формирование ранненерестующей популяции реализуется, в основном, за счет адаптаций в процессе полового созревания (у поклатной молодежи отсутствует замедление темпа раннего онтогенеза, идущие на нерест самки готовы отнереститься в благоприятные для развития молодежи сроки).

Работа поддержана грантом «Биологические ресурсы России» -II.2.4.

### Литература

А.П. Алексеев, Е.А. Дорофеева, О.В. Зеленников. 2005. Современные представления о результатах интродукции дальневосточной горбуши в бассейн Белого моря // Материалы Международной специализированной конференции «Акваторра – 2005». Санкт-Петербург, 14–16 июня 2005 г., «Рестэк», СПб. [420 с.] С. 261–264.

А.П. Алексеев, Е.А. Дорофеева, О.В. Зеленников. 2005. Современные представления о результатах интродукции дальневосточной горбуши в бассейн Белого моря // VIII Международная конференция и выставка «Акваторра – 2005». С. Петербург, ГУП «Водоканал». С. 261–264.

Алексеев А.П., Дорофеева Е.А., Зеленников О.В. 2008. Проблемы и перспективы акклиматизации дальневосточной горбуши в бассейне Белого моря // Рыбоводство и рыбное хозяйство. № 8. С. 24–28.

Алтухов Ю.П. 1974. Популяционная генетика. М. 247 с.

Воловик С.П. 1968. О возможности применения метода морфометрии для определения локальных популяций горбуши // Изв. Тихоокеанск. научн.-исслед. ин-та рыбн. хоз-ва и океанограф. Т. 65. С. 97–107.

Гордеева Н.В. 2003. Генетические процессы у горбуши интродуцированной в бассейне Белого моря // Автореферат к.б.н. 24 с.

Гордеева Н.В., Салменкова Е.А., Алтухов Ю.П., Махров А.А., Пустовойт С.П. 2003. Гордеева Н.В., Салменкова Е.А., Алтухов Ю.П., Махров А.А., Пустовойт С.П. 2003. Генетические изменения у горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) в ходе акклиматизации в бассейне Белого моря // Генетика. Т. 39, № 3. С. 402–412.

Горшков С.А. 1979. Сравнительно-морфологические основы классификации тихоокеанских лососей рода *Oncorhynchus*. Кандидатская диссертация. ЗИН АН СССР. 260 с.

Горшков С.А., Дорофеева Е.А., Клюканов В.А., Куликова Н.И. 1979. Остеологические особенности тихоокеанских лососей рода *Oncorhynchus* // Вопр. ихтиол. Т. 19, вып. 6 (119). С. 963–982.

Е.А. Дорофеева, А.П. Алексеев, В.Г. Кулачкова, О.В. Зеленников, Т.С. Иванова. 2004. Актуальные проблемы акклиматизации горбуши в Белом море // В материалах конференции: «Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря». Петрозаводск. Институт биологии Карельского НЦ РАН. С. 105–109.

Дорофеева Е.А., Алексеев А.П., Зеленников О.В. «Морфологические особенности формирования популяций дальневосточной горбуши в Белом море». Материалы 2-й международной конференции «Экологические исследования беломорских организмов». Июнь 2007 г., м. Картеш. С. 34–36.

Дорофеева Е.А., Зеленников О.В., Боркичев В.С., Алексеев А.П. «Формирование популяций горбуши в белом море». Материалы X Международной конференции «Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря». Сентябрь 2007 г. Архангельск. С. 116–122.

Дорофеева Е.А., Алексеев А.П., Зеленников О.В., Зеленков В.А. Дальневосточная горбуша в бассейне Белого моря (к пятидесятилетию интродукции) // Рыбное хозяйство. № 6. 2006. С. 71–73.

Алексеев А.П., Дорофеева Е.А., Зеленников О.В. 2008. Проблемы и перспективы акклиматизации дальневосточной горбуши в бассейне Белого моря // Рыбоводство и рыбное хозяйство. № 8. С. 24–28.

Дягилев С.Е., Маркевич Н.Б. 1979. Разновременность созревания горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walb.) четных и нечетных лет как основной фактор, определивший различные результаты ее акклиматизации на севере Европейской части СССР // Вопр. ихтиол. Т. 19, вып. 2. С. 230–245.

Енютина Р.И. 1972. Амурская горбуша (промыслово-биологический очерк) // Изв. Тихоокеанск. научн.-исслед. ин-та рыбн. хоз-ва и океанограф. Т. 77. С. 3–126.

Персов Г.М. 1975. Дифференцировка пола у рыб. Л.: Изд-во ЛГУ. 148 с.

Пахомова Н.А., Хлевная А.С. 1978. Морфология яичников горбуши в морской период жизни // Вопросы функциональной морфологии морских животных. Апатиты. С. 102–108.

Персов Г.М., Федоров К.Е., Сакун О.Ф., Чистова М.Н. 1983. Биологические основы, биотехника и надежность процесса акклиматизации дальневосточной горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) на Европейском Севере СССР // Вопросы ихтиол. Т. 23, вып. 4. С. 622–628.

Сакун О.Ф. 1965. Возникновение изменений в гаметогенезе и половом цикле у горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walb.) за пределами естественного ареала // Вопросы ихтиол. Т. 5, вып. 4. С. 639–651.

Суркова Е. И. 1970. Изменение морфологических признаков горбуши в ходе ее акклиматизации на Европейском Севере // Материалы рыбохозяйственных исследований Северного бассейна. Вып. 14. С. 78–85.

Dorofeyeva Ye.A., A.P. Alekseev, O.V. Zelennikov, T.S. Ivanova. 2004. Acclimatization of Far Eastern pink salmon in the White Sea: results and perspectives // Proc. in Zool. Inst. RAS. V. 300. P.53–63.

Hoard W.R. 1991. Life history of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*). Pacific Salmon Life Histories (Eds Groot C., Margolis L.). Vancouver: UBC Press. P. 119–230.

Lear W.H. 1975. Evaluation of transplant of Pacific salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) from British Columbia to Newfoundland // O. Fish. Res. Board Canada. V. 32, No 12. P. 2343–2356.

## MORPHOLOGICAL ADAPTATIONS OF PINK SALMON IN THE WHITE SEA

**E.A. Dorofeyeva**

Zoological Institute, Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg, Russia

e-mail: salmo@zin.ru

As a result of studies of White Sea pink salmon carried out in 2002–2007 has been concluded that at present the odd-year line of pink salmon after the last introduction has retain for 11 generations stable spawning runs and reveals adaptation directed to for formation of early spawning population. The rate of development of sex glands of fish in earlier age and further in course of sea migration allows the entire generation of pink salmon to attain sexual maturity in period favourable for subsequent development of the young. The odd-line generation had demonstrated the change of morphological and genetic characters (the plastic, meristic and osteological characters, the lower value of heterozygosity, allele diversity and diversity of haplotypes of mt DNA) suggest adaptation process.

## ИЗМЕНЕНИЯ В СОСТАВЕ РЫБНОГО НАСЕЛЕНИЯ ВОДОЕМОВ КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ ЗА ПОСЛЕДНИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ

**Т.Н. Дякина<sup>1</sup>, В.В. Королев<sup>2</sup>, Ю.С. Решетников<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> ГУ «Управление по охране и использованию объектов животного мира и водных биологических ресурсов Калужской области», г. Калуга, Россия

<sup>2</sup> Министерство сельского хозяйства Калужской области

e-mail: korolev\_v@adm.kaluga.ru

<sup>3</sup> Учреждение Российской академии наук Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН г. Москва, e-mail: ysreshetnikov@gmail.com

За последние два десятилетия в водных экосистемах Калужской области произошли очень существенные перемены. Отчасти это явилось следствием потепления климата и изменений гидрологического режима рек [Семенов, Семенова, 2002]. Последнее 20-летие прошлого века оказалось самым теплым более чем за 100-летний период наблюдений. Участились зимние оттепели, что привело к уменьшению предвесенних запасов воды в снеге. В реках области произошло сильное уменьшение доли весеннего паводкового стока. Максимальные уровни паводковых вод в Оке под Калугой снизились в среднем с 9 до 5 м. При этом впервые за весь период наблюдений, начиная с 90-х годов, зимний меженный сток стал превышать летний. В результате, начиная с 1990 года, поймы Оки и других рек стали затопливаться только один раз в 4–6 лет. В руслах рек стали накапливаться илы, водотоки все в большей мере зарастают макрофитами, особенно малые. Заметно ускорилось зарастание и заболачивание стариц. Все это сказалось на составе и численности рыбного населения водоемов. Бесспорно, что происходящие изменения в ихтиофауне, нельзя объяснить только переменами в климате. Например, отмечается улучшение экологической обстановки на малых реках Европейской части России, связанное со спадом сельскохозяйственного производства в нашей стране [Решетников, Королев, Попова, 2004; Королев, Решетников, 2005].

Большинство рек Калужской области, в том числе наиболее крупные (Ока, Угра, Жиздра) относятся к бассейну Каспийского моря, который занимает 83% от площади всего водосбора области. Остальные реки принадлежат к бассейну Черного моря. Современная ихтиофауна Калужской области представлена 42 видами рыб и круглоротых. За последние 30 лет она пополнилась 3 инвазивными видами. Из них к явно экзотическим относятся два: пестрый толстолобик – *Aristichthys nobilis* (Richardson, 1846) и белый амур – *Ctenopharyngodon idella* (Val., 1844) Эти виды были завезены в



область как объекты аквакультуры. Они периодически попадают в реки из рыбоводных хозяйств и изредка встречаются в уловах рыбаков, но в естественных условиях не размножаются. Третий дальневосточный вид – ротан – *Perccottus glenii* Dybowski, 1877 – натурализовался во многих старицах и прудах [Королев, Решетников, 2008]. В некоторых прудах, ранее населенных преимущественно карасем при отсутствии хищных рыб, ротан, полностью вытеснил аборигенные виды. В единичных количествах ротан зарегистрирован и некоторых водотоках области, включая Оку под Калугой.

Отметим появление в бассейне верхней Оки украинской миноги – *Eudontomyzon mariae* (Berg, 1931). В бассейне Волги украинская минога ранее не встречалась, ее ареал в России был ограничен бассейнами Балтийского, Черного и Азовского морей. Однако недавно она обнаружена на территории Пензенской области в бассейне Средней Волги [Levin and Holčík, 2006]. В Оке впервые единственный экземпляр этого вида был пойман выше Калуги у с. Столпово в мае 1996 г [Марголин, Черников, 2001]. При проведении полевых работ в бассейне Оки в 2007 г. нами впервые была идентифицирована украинская минога в притоках Оки. Среди десятков особей ручьевой миноги (*L. planeri*), добытых в Угре и Жиздре, было найдено несколько экземпляров украинской.

В мае 2008 г. в бассейне Десны в пределах Калужской области нами был пойман новый для области вид – рыбец *Vimba vimba* (Linnaeus, 1758). Это была самка с брачной окраской тела длиной 37 см и весом 570 г. с гонадами IV–V стадии зрелости с икрой разного диаметра на разных стадиях созревания. До постройки Днепровской ГЭС рыбец был проходным видом, далеко поднимавшимся по Днепру на нерест из приустьевой части Черного моря. После перекрытия реки и создания водохранилищ возникла жилая форма, чаще встречающаяся в верхнем течении Днепра выше г. Орша. Весной на нерест рыбец заходит и в притоки Днепра, но в пределах Брянской и Калужской областей ранее зарегистрирован не был.

Наиболее существенные перемены в структуре и численности рыбного населения произошли среди мелких видов рыб. В 2006 г. в Оке выше Калуги нами был обнаружен еще один новый для Калужской области вид – белоперый пескарь *Romanogobio albipinnatus* (Lukasch, 1933) – [Королев, Решетников, 2008]. К настоящему времени он прослежен на всем протяжении Оки в пределах Калужской области и выше вплоть до устья Упы (Тульская обл.). На участке Оки ниже Калуги, где русло реки преимущественно сложено каменистыми грунтами, белоперый и обыкновенный пескарки обитают симпатрично, выше города (в русле преобладают суглинки и пески) встречается только белоперый пескарь. Численность обоих видов пескарей высокая. В малых реках по-прежнему обитает только обыкновенный пескарь. Несколько особей белоперого пескаря были пойманы нами в 2006 г. и в р. Болва (бассейн Днепра).

Интересно отметить, что в р. Дон в Липецкой области при проведении специальных мальковых отловов с 2003 по 2005 годы было поймано 370 пескарей, среди которых белоперый отсутствовал. Однако в 2006 году в этих же местах было поймано сразу 647 экз. белоперого пескаря [Сарычев, 2007]. Возможно, в последние годы произошла синхронная вспышка численности и расселение вида в бассейнах Волги, Днепра и Дона.

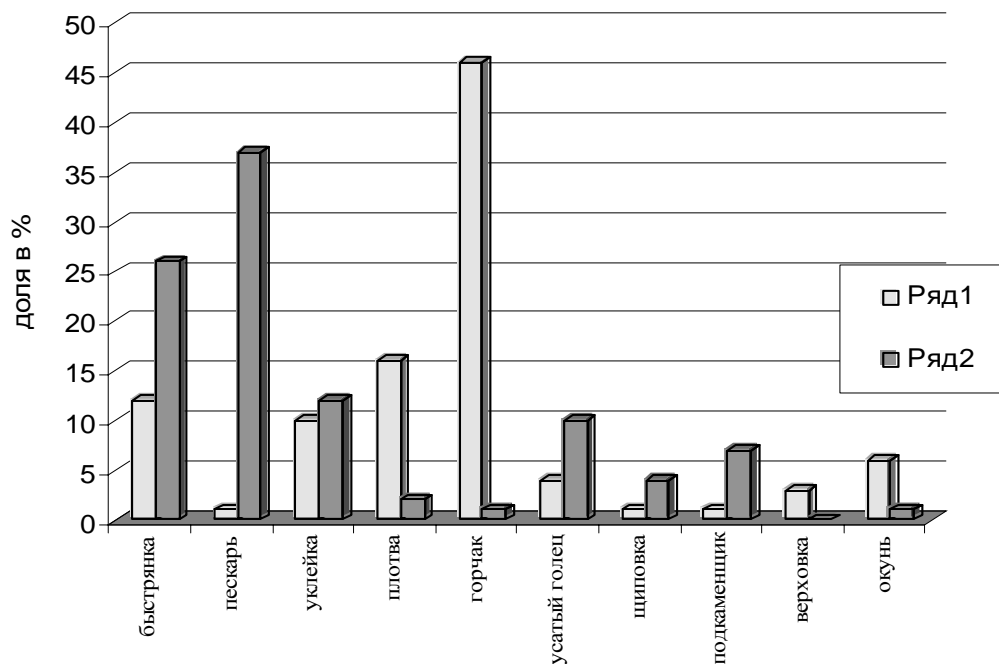
В 2007 г. нами впервые зарегистрирован случай поимки рыбаком в Оке в 30 км ниже г. Калуга бычка-песочника *Neogobius fluviatilis* (Pallas, 1814). Второй экземпляр был пойман в 2008 г. в 18 км выше Калуги. В мае 2009 г. Под Калугой за 2 часа нам удалось поймать на удочку сразу 3 бычков. Для Калужской области бычок-песочник как многочисленный вид ранее был описан только для притоков Десны. Этот эвригалинный прибрежный вид ранее обитал в бассейнах Черного, Азовского и Каспийского морей; в бассейне Каспийского моря отмечался только в самом море и в дельте Волги. После постройки плотин началось его продвижение вверх по Волге. Впервые отмечен сначала в Волгоградском водохранилище (1975 г.), затем в Саратовском (1980-е г.г.) и Горьковском (2002 г.) [Атлас пресноводных рыб России, 2002; Рыбы в заповедниках России, 2009]. В последние годы он поднялся еще выше по Волге и зафиксирован в Рязанской области [Иванчева, Иванчев, 2008]. Недавно отмечено его появление и в водоемах Белоруссии [Жуков, 2003]

В последние годы в реках Калужской области наблюдалась вспышка численности горчака и русской быстрянки – ранее редких для области видов.

Численность русской быстрянки – *Alburnoides bipunctatus rossicus* Berg, 1924 в Калужской области стала быстро возрастать, начиная со второй половине 1990-х годов. В настоящее время это широко распространенный и многочисленный вид: она в больших количествах встречается почти во всех водотоках бассейнов Оки и Днепра. По мнению ряда авторов, быстрянка очень чувствитель-

на к загрязнению воды, что является главным фактором, лимитирующим ее численность [Павлов и др., 1985, 1994]. Тем не менее, она в больших количествах обитает в Оке ниже города Калуга, где вода характеризуется как «умеренно загрязненная», а также в р. Упа Тульской области, где вода сильно загрязнена промышленными стоками. Таким образом, быстрянка терпимо относится даже к существенным загрязнениям воды. Пока не ясны причины явно синхронного исчезновения и появления быстрянки в разных бассейнах, например в бассейнах Двины, Днестра, Дона и Волги. По нашему мнению, динамика численности этого короткоциклового вида определяется, прежде всего, естественными внутривидовыми механизмами, а качество воды является второстепенным фактором.

Горчак – *Rhodeus sericeus amarus* (Bloch, 1782) – ранее редкий для области вид в заметных количествах появился в реках бассейна верхней Оки в 2000 г. В последующие годы произошел быстрый рост численности вида. В настоящее время горчак доминирует среди мелких видов в большинстве рек (рис.), включая водотоки бассейна Днепра, отмечен и в некоторых озерах. Синхронное увеличение численности горчака отмечено и во многих соседних регионах [Kozhara et al., 2007; Иванчева, Иванчев, 2008].



Относительная численность видов рыб в реках бассейна верхней Оки  
Ряд 1 – уловы сачком в зарослях макрофитов; ряд 2 – уловы мелкочейистой волокушей на мелководных участках с ускоренным течением

В Красную книгу Калужской области [Красная книга Калужской области, 2006] включены следующие виды круглоротых и рыб: украинская минога, стерлядь, русская быстрянка, чехонь – *Pelecus cultratus* (Linnaeus, 1758), днепровский усач, сазан – *Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758, обыкновенный сом – *Silurus glanis* Linnaeus, 1758, донской ёрш – *Gymnocephalus acerina* и обыкновенный подкаменщик – *Cottus gobio* Linnaeus, 1758.

Стерлядь до XX в Оке и Жиздре была обычным видом. В настоящее время локально встречается в этих реках в небольших количествах. Несмотря на многолетние подсадки подрощенных сеголеток стерляди в Оку, Жиздру и Угру, её численность пока остается на низком уровне.

Сазан является аборигенным видом, но в последние годы в Оке его стало мало. Теперь в реках чаще попадаются различные породы карпа, происходящие из рыбоводных хозяйств. Серебряный карась и карп – виды ранее малочисленные в водотоках области за последние 10 лет основали в Оке и других реках устойчивые популяции.

Численность донского ерша – *Gymnocephalus acerina* (Güldenstädt, 1774 и днепровского усача – *Barbus barbus borysthenticus* Dybowski, 1862 за последние 15 лет в бассейне Десны резко снизилась и в настоящее время в Калужской области эти виды находятся на грани исчезновения. В это же период из р. Болва исчезли, ранее обитавшие в ней в небольших количествах, стерлядь и чехонь.

Состояние таких видов как подуст и жерех, имеющих охранный статус на европейском уровне, вполне благополучное. Волжский подуст после депрессии численности, имевшей место в 1986–1995 годах, быстро восстанавливается в численности и теперь стал обычным видом, но пока только в крупных реках области.

Русский подкаменщик вообще является многочисленным видом во многих реках Калужской области. По нашему мнению, в Красные книги надо заносить отдельные популяции подкаменщика, а не вид в целом. Более того, по нашим наблюдениям нет оснований считать его «индикатором чистой воды». Подкаменщик обитает в больших количествах в Оке ниже Калуги, где качество воды оценивается как «умеренно загрязненное», встречается в р. Упа – самой неблагополучной по чистоте воды реке Тульской области, а также в реках с большим содержанием нефтепродуктов (р. Ухта в республике Коми) [Королев, 2003, Королев, Решетников, 2008].

В последние 10 лет наблюдался рост численности таких видов как голавль, сом, щука, серебряный карась. Однако по сравнению с 1960–80-ми годами по ряду причин (перелов, возвраты холодов в период нереста, непродолжительные и низкие паводки) запасы большинства промысловых видов рыб в реках Калужской области сильно сократились, а возрастная структура их популяций значительно омолодилась.

Таким образом, в водоемах Калужской области, как и во многих других регионах Европейской части России, происходят существенные перестройки в структуре рыбного населения водоемов. Эти процессы происходили и продолжают происходить с разной интенсивностью для отдельных видов и связаны с рядом факторов: изменением гидрологического режима рек, улучшением экологического состояния малых рек, усиленным прессом браконьерства. Некоторые виды повысили свою численность, другие сократили. Активно идут процессы саморасселения рыб, синхронные колебания численности («волны жизни»), одновременно охватывающие бассейны Западной Двины, Днепра Дона и Волги.

#### Литература

- Атлас пресноводных рыб России. 2002 / Под ред. Ю.С. Решетникова. М.: Наука. Т.1 79 с. Т.2 253 с.
- Иванчеева Е.Ю., Иванчеев В.П. 2008. Динамика видового состава рыб и некоторые результаты ихтиомониторинга в среднем течении Оки // *Вопр. ихтиологии*. Т. 48, № 5. С. 625–633.
- Жуков П.И. 2003. Руководство по рыбам, населяющим Республику Беларусь: Минск: Бизнесофсет. 88 с.
- Королев В.В. 2003. Экология обыкновенного подкаменщика *Cottus gobio* L. (Scorpaeniformes: Cottidae) бассейнов Печоры и Оки: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Калуга: КГПУ, 22 с.
- Королев В.В., Решетников Ю.С. 2005. Редкие и малочисленные виды круглоротых и рыб Калужской области // «Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоёмов Европейского Севера. Сборник материалов IV (XXVII) Международной конференции. Часть 1. Вологда. С. 205–209.
- Королев В.В., Решетников Ю.С. 2008. Редкие виды круглоротых и рыб бассейна верхней Оки в пределах Калужской области // *Вопр. ихтиологии*. Т. 48, № 5. С. 611–624.
- Красная книга Калужской области. 2006. Калуга: Золотая Аллея. 608 с.
- Марголин В.А., Черников М.А. 2001. К изучению миноговых Калужской области // *Вопросы археологии, истории, культуры и природы Верхнего Поочья*. Калуга: Изд-во Н.Бочкаревой. 2001. С. 318–320.
- Павлов Д.С., Савваитова К.А., Соколов Л.И., Алексеев С.С. 1994. Редкие и исчезающие животные: Рыбы. М.: Высш. Школа. 333 с.
- Решетников Ю.С., Королев В.В., Попова О.А. 2004. Малые реки Калужской области в условиях ре-олиготрофирования водоемов. // *Экосистемы малых рек: биоразнообразие, экология, охрана*. Тез. докл. II Всерос. Конф. Борок, 16–19 ноября 2004. С. 71–72.
- Рыбы в заповедниках России. Том 1 Пресноводные рыбы / Под ред. Ю.С. Решетникова. М.: КМК. 2009 (в печати).
- Сарычев В.С. 2007 Рыбы и миноги Липецкой области. Воронеж: Воронежский государственный университет. С.68–70. С. 170–172.
- Семенов В.А., Семенова И.В. 2002. Водные ресурсы и гидроэкология Калужской области. Обнинск: «Технограф». 254 с.
- Kozhara A.V., Zhulidov A.V., Gollasch S. et al. 2007. Range extension and conservation status of the bitterling, *Rhodeus sericeus amarus* in Russia and adjacent countries // *Folia Zool.*, Vol. 56 (1). P. 97–108.
- Levin B.A. and Ju.Holčík. 2006. New data on the geographic distribution and ecology of the Ukrainian lamprey, *Eudontomyzon mariae* (Berg, 1931) // *Folia Zool.*, Vol. 55, № 3. P. 282–286.

## THE NEW FISH SPECIES IN THE WATERS OF KALUGA REGION

T.N. Dyakina, V.V. Korolev, Yu.S. Reshetnikov

<sup>1</sup>SI «Administration of protection and use of fauna and water biological resources of Kaluga Region», Russia, e-mail: korolev\_v@adm.kaluga.ru

<sup>2</sup>Ministry of Agriculture of Kaluga Region

<sup>3</sup>Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Moscow, Russia

Our investigations of rivers of the Kaluga oblast demonstrated that during the last five-ten years in rivers of the Upper Oka basin significant changes occurred in the structure of the ichthyofauna. The recent aboriginal ichthyofauna of the Upper Oka within the Kaluga oblast is represented by 36 species. During the last four years the list of fish of the Oka is supplemented by white-finned gudgeon – *Romanogobio albipinnatus*, Ukrainian lamprey – *Eudontomyzon mariae* and monkey goby – *Neogobius fluviatilis*. *Vimba vimba* was registered in the Desna River (the Dnieper River Basin) at the first time in Kaluga region. Changes in ichthyofauna in the basin of upper Oka River for last 20 years are described. Sharp increase of bitterling or gorchak – *Rhodeus sericeus* and riffle minnow or bystryanka – *Alburnoides bipunctatus* quantity is noted. We believe that the population dynamics of this short-cycle species is controlled first of all by natural intraspecies mechanisms and the water quality is a secondary factor. Sometimes, bystryanka disappears from a water body for a long time and then unexpectedly appears again in large numbers. In many regions in small rivers bystryanka has become a common and sometimes dominant species. The reasons of definitely synchronous appearance and disappearance of bystryanka in different basins, e.g., in the Dvina, Dnieper, and Volga basins, are still not clear.

## РАСПРОСТРАНЕНИЕ МОНОГЕНЕИ *GYRODACTYLUS SALARIS* В САДКОВОЙ АКВАКУЛЬТУРЕ КАРЕЛИИ

Н.В. Евсеева

Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск, Россия  
e-mail: evseevanv@gmail.com

Плоский червь *Gyrodactylus salaris* Malmberg, 1957 уже более 30 лет прочно ассоциируется у ученых и рыбоводов как особо опасный паразит лосося *Salmo salar* L., обитающего в водоемах Атлантического бассейна Скандинавии. Попав в Норвегию в середине 70-х годов в результате проведения рыбоводных работ, паразит вызвал катастрофическую потерю речной молоди лосося почти в 40 реках (Кудерский, 2003; Johnsen, Jensen, 1992).

В естественных условиях *G. salaris* встречается в реках бассейна Балтийского моря, Ладожского и Онежского озер, не причиняя видимого ущерба молоди пресноводного лосося. Участие других рыб семейства лососевых в качестве хозяев *G. salaris* до недавнего времени было незначительным. Известно, что он способен жить непродолжительное время на гольце, хариусе, ручьевой форели, кумже. В Финляндии паразит не вызывает развития болезни или смертности рыб, в том числе и у культивируемой радужной форели (Рахконен и др., 2003). В связи этим вспышка гиродактилёза весной 2008 г. в одном из садковых форелевых хозяйств Карелии была неожиданной и требовала тщательного изучения и дальнейшего контроля.

### Материал и методика исследований

Объектом исследования служили садковые форелевые хозяйства, расположенные в различных районах Республики Карелии: Кондопожском, Лахденпохском, Медвежьегорском, Муезерском, Питкярантском, Пряжинском, Сегежском районах и ТА г. Костомукши. Исследования осуществлены на акватории крупных озер – Онежское, Ладожское, Сегозеро, а также на средних и мелких водоемах. Сборы проб на наличие гиродактилюса осуществлялись во все сезоны 2008 – 2009 гг. за исключением периода ледостава и первых зимних месяцев (ноябрь – январь). Исследованиям подвержена культивируемая радужная форель (*Oncorhynchus mykiss*) разных возрастов – от мальков до трехлеток. Выявления возбудителя, учет численности паразитов, отбор проб на генетический анализ осуществлялось в соответствии с финским Руководством (Коски, 2006). При генетических исследованиях использовались тестовая система на фрагмент 191 пар оснований ядерной ДНК гена ADNAN1 (Ziętara et al., 2006) и данные сиквенса гена CO1 (Meinilä et al., 2004).

## Результаты и обсуждение

При проведении планомерных паразитологических исследований, осуществляемых в форелевых садковых хозяйствах Карелии на протяжении 8 лет (с 2000 по 2007 гг.) отмечены немногочисленные находки гиродактилюсов у радужной форели. Так, весной 2001 г. в хозяйстве на оз. Космозере (Заонежский полуостров) у годовиков форели, привезенной из питомника «Арктик-Салмон» с Верхне-Тулумского водохранилища Мурманской области были обнаружены единичные моногеней *Gyrodactylus*. По единственному сохранившемуся экземпляру паразит предположительно был определен как *G. lavareti*. В 2003 г. в хозяйстве Валаамского монастыря на Ладожском озере было обнаружено 5 экз. моногеней у двухлеток форели, завезенных из садкового хозяйства, расположенного в Лижемской губе Онежского озера. Годом позже там же были выявлены несколько экземпляров моногеней *Gyrodactylus* с мальков форели, привезенных из питомника, расположенного в Мурманской области. Таким образом, в садковой аквакультуре Карелии, а так же и в других регионах Северо-Запада России до 2008 г. не отмечено широкого распространения паразита и вызываемого им заболевания (Рыжков и др., 2007).

В апреле 2008 г. в одном из хозяйств, расположенных в северной части Онежского озера, был зарегистрирован первый случай гиродактиллеза двухлеток радужной форели, вызванный моногенеей *G. salaris* (Евсеева, 2008; Евсеева и др., 2009). Методом паразитологического анализа выявлена 100% зараженность паразитом обследованной форели. Число паразитов колебалось от нескольких десятков до сотен червей на рыбу при средней интенсивности заражения 157 экз. Паразиты локализовались преимущественно на грудных плавниках, а в случае высокой численности червей – на брюшных плавниках, анальном плавнике, поверхности тела, в носовых ямках.

В результате проведенных комплексных исследований было установлено, что заболевание рыб протекало в острой форме, и было осложнено вторичной бактериальной инфекцией, что ухудшило общее состояние здоровья рыб. Микробиологический анализ выявил высокую обсемененность форели условно-патогенными организмами с преобладанием бактерий группы кишечной палочки. Болезнь усугублялась интоксикацией и тканевой гипоксией организма рыб, что было подтверждено гематологическими исследованиями.

Эпизоотия могла произойти в результате заражения радужной форели от местной формы атлантического лосося, поскольку *G. salaris* является естественным компонентом его паразитофауны в карельских озерах. Известно, что *G. salaris* встречается в бассейне Онежского озера у молоди и у рыб старших возрастов, хотя численность паразита не достигает больших значений. (Пермяков, Румянцев, 1984; Иешко и др., 1998; Румянцев и др., 1999).

Другим возможным путем заражения форели являлся завоз возбудителя с посадочным материалом из Финляндии. На настоящий момент Республика Карелия не располагает крупными инкубационно-выростными хозяйствами, которые бы полностью удовлетворили спрос на посадочный материал для товарного выращивания. В силу этого в последние годы основным поставщиком молоди форели являются питомники, располагающиеся в средней части Финляндии.

В связи с этим необходимо было дать оценку распространения опасного паразита лососевых рыб *G. salaris* в садковых форелевых хозяйствах Карелии, а также провести генетическую экспертизу данного паразита. Исследования осуществлялись в 2008–2009 гг. на протяжении 15 месяцев с момента первого случая возникновения гиродактиллеза (таблица).

По результатам проведенного мониторинга зараженности культивируемой радужной форели выявлено, что из 17 обследованных хозяйств *G. salaris* был обнаружен в 11. Количественные показатели экстенсивности и интенсивности заражения рыб существенно разнились, так как исследования осуществлялись в разные сезоны, у разных возрастных групп рыб, в хозяйствах с разным объемом выращивания, проводимых лечебных мероприятиях и пр. Тем не менее, полученные данные красноречиво свидетельствуют о широком распространении паразита. Судя по динамике, эта цифра не окончательная и следует ждать дальнейшего роста числа инвазированных хозяйств.

Быстрое распространение *G. salaris* в садковых форелевых хозяйствах, расположенных на акватории крупных озер, вызвало серьезные опасения в связи с возможностью перехода паразита на естественные популяции близкородственных лососевых видов рыб. Согласно последним данным, *G. salaris* является сборным видом и видовая диагностика этой группы паразитических организмов невозможна без генетического анализа. На основании проведенного PCR-анализа было выявлено, что изученные экземпляры паразита от культивируемой форели садковых хозяйств Карелии явля-

ются клоном *G. salaris* RBT. Ранее в работах финских исследователей было показано, что появление этой формы *G. salaris* произошло в период освоения паразитом нового хозяина – радужной форели *O. mykiss*. Таким образом, все исследованные экземпляры *G. salaris* из садковых хозяйств Карелии были «заводского» происхождения. (Евсеева и др., 2009).

#### Распространение паразита *Gyrodactylus salaris* в садковых форелевых хозяйствах Карелии в 2008–2009 гг.

№ исследованного хозяйства	Водоем	Дата первого исследования	Экстенсивность инвазии, %	Интенсивность инвазии, экз.
1	Онежское оз., з-в Большое Онего	Апрель 2008г.	100	157,0
2	Онежское оз., з-в Большое Онего	Май 2008 г.	85, 7	7,9
3	Онежское оз., з-в Большое Онего	Май 2008 г.	89,0	24,5
4	оз. Путкозеро Заонежский п-в	Июнь 2008 г.	50,0	2,8
5	оз.Сегозеро Сегежский р-н	Май-июнь 2008 г.	60,0	12,5
6	Онежское оз., пр.Суйсари	Июнь 2008 г.	65,0	10,0
7	оз.Топозеро Пряжинский р-н	Июль 2008 г.	0	0
8	Ладожское оз. з-в Нейсмери	Февраль 2009 г.	100	20,5
9	Онежское оз., Кефть-губа	Февраль 2009 г.	80	14,2
10	Ладожское оз. з-в Лункулун-лахти	Март 2009 г.	0	0
11	Ладожское оз. Питкярантский р-н	Апрель 2009 г.	100	30,0
12	Онежское оз., Оров-губа	Апрель 2009 г.	0	0
13	оз.Космозеро Заонежский п-в	Апрель-май 2009 г.	100	185,0
14	оз. Момсаярви, р.Чирка-Кемь	Май 2009 г.	0	0
15	р.Нагеусйоки Кимасозеро	Май 2009 г.	0	0
16	Онежское оз. Кондопожская губа	Июнь 2009 г.	75,0	100,0
17	оз.Семчозеро Медвежьегорский р-н	Июль 2009 г.	0	0

На основании данных, полученных при проведении паразитологических, ихтиопатологических, эпизоотологических и генетических исследований можно предположить, что основной завоз возбудителя в форелевые хозяйства Карелии из Финляндии был осуществлен в 2007 г. Заражение форели от местного лосося могло произойти только в тех водоемах, где численность хозяев и паразита очень высока, чтобы произошло заражение. Этот процесс должен был бы происходить достаточно медленно и неравномерно, а не в сжатые сроки, как это имело место на самом деле. Обнаружение паразита в водоемах, где совсем отсутствует местный лосось, полностью отбрасывает возможность естественного заражения форели.

#### Литература

- Евсеева Н.В., 2008. Состояние и перспективы ихтиопатологических исследований в аквакультуре Карелии // Материалы научной конференции «Садковое рыбоводство. Технология выращивания. Кормление рыб и сохранение их здоровья», Петрозаводск. С.68–71.
- Евсеева Н.В., Барская Ю.Ю., Лебедева Д.И., 2009. Первый случай гиродактилёза радужной форели в аквакультуре Карелии // Сб. научн. труд. ФГНУ ГосНИОРХ № 338, С-Пб.
- Иешко Е.П., Щуров И.Л., Шульман Б.С., Бристов Г., Берланд Б., 1998. Паразиты молоди пресноводного лосося (*Salmo salar morfa sebago* Girard), обитающей в реках бассейна Онежского озера // Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря. Мат. VII Международной конф. Санкт-Петербург. С. 250–251.
- Коски П., 2006. Руководство по проведению ветеринарного контроля над болезнями рыб и отбору проб для рыбоводных хозяйств северо-запада России. Оулу. 40 с.
- Кудерский Л.А., Иешко Е.П., Шульман Б.С., 2003. История формирования ареала моногеней *Gyrodactylus salaris* Malmberg 1957 – паразита молоди атлантического лосося *Salmo salar* Linnaeus 1758 // Атлантический лосось: биология, охрана, воспроизводство. Петрозаводск. С. 149–155.
- Пермяков Е.В., Румянцев Е.А., 1984. Паразитофауна лососевых (Salmonidae) и сиговых (Coregonidae) рыб Онежского озера // Сборник научных трудов ГосНИОРХ. Вып. 216. С. 112–116.
- Рахконен Р., Веннерстрем П., Ринтамяки-Киннунен П., Каннел Р., 2003. Здоровая рыба. Профилактика, диагностика и лечение болезней. Хельсинки. С. 56–59.
- Румянцев Е.А., Шульман Б.С., Иешко Е.П., 1999. Современное эпизоотическое состояние основных внутренних водоемов Карелии // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера. Материалы 2 (25) международной конференции. Петрозаводск. С. 55–57.
- Рыжков Л.П., Нечаева Т.А., Евсеева Н.В., 2007. Садковое рыбоводство – проблемы здоровья рыб. Петрозаводск, Изд-во ПетрГУ. 120 с.

Meinilä, M., Kuusela, J., Ziętara, M. S., Lumme J., 2004. Initial steps of speciation by geographic isolation and host switch in salmonid pathogen *Gyrodactylus salaris* (Monogenea: Gyrodactylidae) // International Journal for Parasitology. Vol. 34. P.515–526.

Johnsen B.O., Jensen A.J. 1986. Infestations of Atlantic salmon, *Salmo salar*, by *Gyrodactylus salaris* in Norwegian rivers // J. Fish Biology. V. 29, N 2. P. 233–241.

Johnsen B.O., Jensen A.J., 1992. Infection of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., by *Gyrodactylus salaris*, Malmberg 1957, in the River Lakselva, Misvær in northern Norway // Journal of Fish Biology. Vol. 40. P. 433–444.

Ziętara, M. S., Kuusela, J., Lumme J., 2006 Escape from an evolutionary dead-end: a triploid clone of *Gyrodactylus salaris* is able to revert to sex and switch host (Platyhelminthes, Monogenea, Gyrodactylidae) // Hereditas. Vol.143. P.86–92.

## **DISTRIBUTION OF MONOGENEA GYRODACTYLUS SALARIS IN CAGE FISH FARM OF KARELIA**

**N.V. Evseyeva**

Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia

*e-mail: evseevanv@gmail.com*

Research works on the topic of distribution of salmon fish parasite *Gyrodactylus salaris* were held on the cage fish farms of Karelia during 2008–2009. The area of study – Lake Onega, Lake Ladoga, Lake Segozero and also middle-size and small reservoirs. The object of study was cultured rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) of different age (0+ – 3+). Due to monitoring results it was revealed, that *G. salaris* was disclosed at 11 fish farms out of 17. Genetic investigation showed that the disclosed parasite is the clone of *G. salaris* RBT. According to the parasitological and genetic analysis data infection of rainbow trout on the fish farms of Karelia descended from fry, imported from Finnish hatcheries in 2007.

## **СОСУЩЕСТВОВАНИЕ ТАКИХ БЕЛОМОРСКИХ МОРСКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ, КАК БЕЛУХИ (*DELPHINAPTERUS LEUCAS*), МОРСКИЕ ЗАЙЦЫ (*ERIGNATUS BARBATUS*) И КОЛЬЧАТЫЕ НЕРПЫ (*PUSA PHISPIDA*) В ГУБЕ ЧУПА КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ В ЛЕТНЕ-ОСЕННИЙ НАГУЛЬНЫЙ ПЕРИОД**

**Е.А. Елисеева**

Научно-исследовательский институт «Гипрорыбфлот», г. Санкт-Петербург, Россия

*e-mail: dolphcat@mail.ru*

### **Введение**

В губе Чупа Кандалакшского залива Белого моря в летне-осенний нагульный период (июнь – сентябрь) наиболее часто встречаются такие виды беломорских морских млекопитающих, как: белухи (*Delphinapterus leucas*) (отр. Китообразные *Cetacea*, п/отр. Зубатые киты *Odontoceti*, сем. Нарваловые *Monodontidae*), морские зайцы (*Erignatus barbatus*) (отр. Ластоногие *Pinnipedia*, сем. Настоящие тюлени *Phocidae*) и кольчатые нерпы (*Pusa phispida*) (отр. Ластоногие *Pinnipedia*, сем. Настоящие тюлени *Phocidae*) (Бианки, 1965; Потелов, 1969; Елисеева, 2006 а, б, 2007, 2008). При этом морские зайцы и кольчатые нерпы держатся в этом районе постоянно, в то время как белухи иногда мигрируют в основном вслед за своими объектами питания.

Вследствие относительной схожести в данный период кормовой базы и образа жизни всех этих морских млекопитающих, они разделяют одни и те же акватории, в результате чего между ними складываются определенные взаимоотношения.

Целью настоящего исследования является изучение различных аспектов сосуществования данных социальных беломорских организмов, которое имеет большое научное и практическое значение, в том числе с точки зрения совместного содержания и использования разных морских млекопитающих в искусственных условиях.

Для этого необходимо оценить общие места локализации, встречаемость, распределение, численность, суточный бюджет времени этих животных, а также их различное поведение и взаимоотношения.

## Материалы и методы

Исследования по данной тематике проводятся уже несколько лет на базе Беломорской биологической станции Зоологического института Российской Академии наук мысе Картеш (ББС ЗИН РАН), расположенной в устьевой части губы Чупа Кандалакшского залива Белого моря (рис. 1).

Для этого ежегодно в летне-осенний период (июль-сентябрь) в районе мыса Картеш осуществляются периодические ежедневные классические зоологические визуальные маршрутные береговые и водные наблюдения (Елисеева, 2006 а, б, 2007, 2008). При этом используются специальные оптические, фото- и видеоприборы для регистрации и анализа находящихся в воде морских млекопитающих, их внутри- и межвидового поведения и отношения к факторам среды.

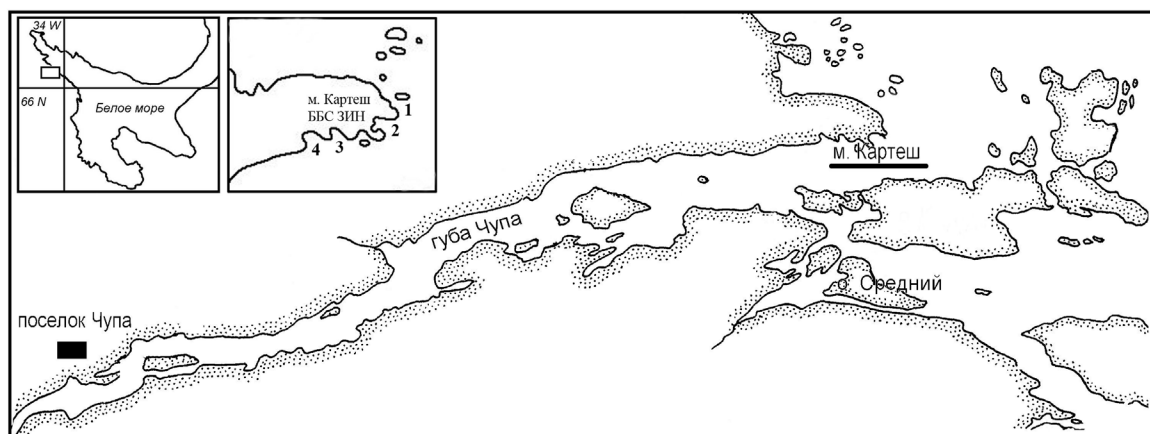


Рис. 1. Карта-схема расположения мыса Картеш и мест исследований в губе Чупа Кандалакшского залива Белого моря

где 1 - Иванов Наволок, 2 - бухта Левая, 3 - бухта Круглая, 4 - бухта Сельдяная

## Результаты и обсуждение

В целом берега губы Чупа и в частности мыса Картеш сильно изрезаны. Имеется много различных проливов, бухт и островов. Кроме того, губа Чупа имеет неравномерный рельеф дна, относительно небольшую глубину, а речной сток распресняет и теплит поверхностный водный слой (Елисеева, 2008).

Все это, а также относительно богатая кормовая база и слабое антропогенное влияние, создают благоприятные условия для обитания в данном районе в летне-осенний нагульный период резидентных морских зайцев и кольчатых нерп, а также нерезидентных мигрирующих иногда белух.

В районе Картеша, где проводятся исследования, такими наиболее предпочитаемыми местами локализации этих морских млекопитающих являются: бухты Сельдяная, Круглая, Кривозерская и Левая, а также акватории около самого мыса Картеш, острова Иваньков и Иванова Наволока (рис. 1). Это связано с тем, что они являются относительно тихими, прибрежными, прогреваемыми, мелководными зонами с хорошим водообменом, наиболее укрытыми от ветра, волнения и так называемого «фактора беспокойства» (суда, рыбаки, туристы). Также там особенно богатая для морских млекопитающих кормовая база, благодаря проходящим фронтальным разделам вод и созданным биостанцией мидиевыми плантациями, в районе которых особо сконцентрированы их различные объекты питания (Елисеева, 2008).

При этом изучаемые животные в данное время не образуют локальных крупных скоплений, а держатся хаотично поодиночке или небольшими группами (2-10 особей) (Огнетов, 1995; Елисеева, 2006 а, 2006 б). Их суточный бюджет времени в этот период составляют в основном охота, кормление, отдых и игры, которые могут носить индивидуальный и групповой характер. Причем наибольшая активность наблюдается чаще в утренние и вечерние часы.

Несмотря на общность занимаемых акваторий, относительную схожесть кормовой базы и образа жизни в это время, между белухами, морскими зайцами и кольчатыми нерпами не наблюдается особой конкуренции, они хорошо сосуществуют в данном районе. Связано это, главным образом, с их небольшой численностью и плотностью популяций в изучаемый период.



Можно выделить следующие основные виды их индивидуального и группового (одновременно, последовательного) внутри- и межвидового поведения: ориентировочно-исследовательское, охота и кормление, отдых и игры, а также подражание и обучение (см. также Елисеева, 2007). При этом между данными животными складываются определенные внутри- и межвидовые взаимоотношения.

Ранее было показано, что в условиях дельфинариев при совместном содержании разных видов морских млекопитающих, этих высокоинтеллектуальных животных, они часто обучаются друг у друга различным элементам поведения, участвуют в совместных играх (Надолишняя и др., 2004; Елисеева, Обухов, 2006) и даже заботе о потомстве (Елисеева, Обухов, 2006). И связано это, в первую очередь, с искусственным совместным содержанием в ограниченном пространстве с информационно обедненной окружающей средой.

Кроме того, раньше считалось, что настоящие тюлени (к которым относятся, в том числе, морские зайцы и кольчатые нерпы) обладают гораздо более низкими интеллектуальными способностями и менее способны к обучению, чем зубатые киты (к которым относятся, в том числе, белухи). Недавно же в результате проведенных экспериментов в дельфинариях было показано на примере настоящих серых тюленей, что они практически не уступают в этом зубатым китам (Надолишняя и др., 2006).

В ходе данного исследования выявлено, что и в естественных природных условиях разные виды китообразных и ластоногих (на примере белух, морских зайцев и кольчатых нерп) также могут активно взаимодействовать друг с другом, обучаться друг у друга (в том числе настоящие тюлени у белух) чаще на основе подражания различным видам деятельности, участвовать в совместной охоте, кормлении и играх.

Районы же подобные губе Чупа и мысу Картеш, где одновременно обитают в естественных условиях разные виды морских млекопитающих, являются очень удобными для изучения различных аспектов успешного сосуществования этих высокоинтеллектуальных социальных животных со сложными разнообразными внутри- и межвидовыми взаимоотношениями.

Исследования в данной области необходимо продолжать, и полученные результаты в природных условиях во многом можно экстраполировать и использовать в условиях искусственного содержания и использования морских млекопитающих.

*Автор работы выражает огромную благодарность за предоставляемую возможность проведения данных исследований и помощь в работе В.Я. Бергеру, А.А. Сухотину и другим сотрудникам Беломорской биологической станции и Зоологического института Российской Академии наук.*

### Литература

- Бианки В.В., 1965. О численности морских млекопитающих в вершине Кандалакшского залива. Петрозаводск, Госниорх. С. 42–44.
- Елисеева Е.А., 2006 а. Ластоногие губы Чупа Кандалакшского залива Белого моря в летне-осенний нагульный период // VII Научная сессия МБС СПбГУ. Тезисы докладов. СПб. С. 83–84.
- Елисеева Е.А., 2006 б. Экология и поведение настоящих тюленей губы Чупа Кандалакшского залива Белого моря в летне-осенний нагульный период // Морские млекопитающие Голарктики. Сборник научных трудов IV Международной конференции. СПб. С. 189–192.
- Елисеева Е.А., 2007. Классификации поведения беломорских ластоногих губы Чупа в летне-осенний нагульный период // Экологические исследования беломорских организмов. Материалы II Международной конференции. СПб. С. 39–41.
- Елисеева Е.А., 2008. Район около мыса Картеш (Белое море, Кандалакшский залив, губа Чупа), как место обитания беломорских ластоногих // Морские млекопитающие Голарктики. Сборник научных трудов V Международной конференции. Одесса. С. 170–173.
- Елисеева Е.А., Обухов Д.К., 2006. Поведение детеныша афалины (*Tursiops truncatus* Montagu, 1821) в начальный ювенильный период (первые 0,5 года жизни) при содержании в дельфинарии // Морские млекопитающие Голарктики. Сборник научных трудов IV Международной конференции. СПб. С. 185–189.
- Надолишняя А.П., Стародубцев Ю.Д., Мухаметов Л.М., Елисеева Е.А., 2004. Изучение взаимодействий с предметами дельфинов афалин (*Tursiops truncatus*) // Морские млекопитающие Голарктики. Сборник научных трудов III Международной конференции. М. С. 419–422.
- Надолишняя А.П., Стародубцев Ю.Д., Михайлюк А.Л., Зимина О.А., 2006. Обобщение по относительному признаку «средний» у серого тюленя // Морские млекопитающие Голарктики. Сборник научных трудов IV Международной конференции. СПб. С. 386–390.
- Огнетов Г.Н., 1995. Морские млекопитающие // Белое море. Биологические ресурсы и проблемы их рационального использования. СПб. Ч. 2.
- Потелов В.А., 1969. Распределение и миграции морских зайцев в Белом, Баренцевом и Карском морях // Морские млекопитающие. М., «Наука». С. 245–251.

# **COEXISTENCE WHITE SEA MARINE MAMMALS: WHITE WHALES (*DELPHINAPTERUS LEUCAS*), BEARDED SEALS (*ERIGNATUS BARBATUS*) AND RINGED SEALS (*PUSA PHISPIDA*) IN CHUPA INLET OF KANDALAKSHA BAY OF WHITE SEA IN SUMMER-AUTUMN PERIOD**

**E. Eliseeva**

Scientific Research Institute «Giproribflot», St.-Petersburg, Russia

E-mail: dolphcat@mail.ru

In Chupa inlet of Kandalaksha bay of White Sea in the summer-autumnal period from marine mammals most often there are white whales, bearded seals and ringed seals. Owing to similarity in this period of their feed and a lifestyle, they divide the same water areas therefore between them there are certain mutual relations. Studying of various aspects of coexistence of these social organisms has the big scientific and practical value, including for the joint maintenance and use of different marine mammals in artificial conditions. As a result of research their places of localization, occurrence, number, the daily budget of time, various behavior and mutual relations are estimated. Researches are spent some years on the basis of and by means of scientific workers of White Sea of biological station of Zoological institute of Russian Academy of sciences cape Kartesh. It is revealed, that studied animals at this time do not form local large congestions, and keep chaotically solitary or small groups (2-10 individuals). Their daily budget of time is made with following kinds individual and group (simultaneous and consecutive) intra- and interspecific behavior: roughly-research, hunting, feeding, rest, games, imitation and training. The areas similar to Chupa inlet and cape Kartesh where different kinds of marine mammals simultaneously live in natural conditions, are convenient for studying various aspects of coexistence of these social animals with complex various intra- and interspecific mutual relations.

## **ВОЗРАСТНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ БИОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КРОВИ БЕЛОМОРСКИХ ГРЕНЛАНДСКИХ ТЮЛЕНЕЙ**

**И.А. Ерохина**

Учреждение Российской академии наук Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра РАН, г.Мурманск, Россия

e-mail: chiv1@front.ru

### **Введение**

Гренландский тюлень рассматривается в качестве одного из биоиндикаторов состояния экосистемы Баренцева моря (Timoshenko, 1995). Исследования этого вида посвящены, главным образом, ряду сторон его биологии – распределения, миграций, размножения, морфологии. Биохимический подход в популяционных исследованиях беломорского гренландского тюленя практически не разработан. В то же время эколого-биохимический мониторинг может иметь уникальное значение для оценки изменений в обмене веществ животных, наступающих, как правило, до появления морфологических и популяционных отклонений от нормы (Сидоров и др., 1990). Это позволяет применять его для ранней диагностики изменений, происходящих в водоеме. Поскольку действие факторов среды в значительной степени зависит от стадии развития организма, онтогенетический принцип является неотъемлемой частью системы эколого-биохимического мониторинга.

В связи с вышеизложенным в задачу данной работы входило изучение особенностей ряда биохимических показателей у беломорского гренландского тюленя разного возраста – от новорожденных до взрослых особей.

### **Материал и методы**

Материалом исследования служила плазма крови гренландского тюленя (*Pagophilus groenlandicus* Erxleben, 1777) беломорской популяции. Кровь от новорожденных особей, перелинявших (возраст 1,5–2 мес) и взрослых животных получали во время промысла на Белом

море. В группу взрослых отнесли животных с характерной крылановой окраской, а также размерами тела, присущими особям старше 6 лет (Хузин, 1972). В возрастных группах 1, 2 и 3 года обследованы животные, с 1,5-месячного возраста содержащиеся в аквакомплексе Мурманского морского биологического института (Кольский залив). Объединение в одном исследовании свободноживущих и содержащихся в неволе особей мы сочли приемлемым на основании данных литературы о практически идентичном биохимическом составе крови у вышеупомянутых групп ластоногих (McConnel, Vaughan, 1983). Кровь брали из экстрадуральной вены (Geraci, Smith, 1975). Плазму отделяли центрифугированием. В ней определяли общий белок и его фракции, свободный аминный азот, мочевины, креатинин, глюкозу, общие липиды, кальций и неорганический фосфор, используя унифицированные методы (Камышников, 2000). Модифицированный альбумин выявляли методом переосаждения в системе трихлоруксусная кислота-этанол, предложенным Троицким с соавторами (Троицкий и др., 1986). Цифровой материал обработан общепринятыми методами вариационной статистики с использованием критерия Стьюдента для оценки достоверности различий.

### Результаты и обсуждение

Изучение содержания в крови белка и характера его распределения по фракциям служит одним из приемов оценки на молекулярном уровне метаболической активности органов и тканей, поскольку белки крови являются компонентами динамичной циркулирующей системы, отражающей физиолого-биохимические особенности организма в целом. Содержание общего белка с возрастом, как правило, увеличивается (Engelhardt, 1979; Sepulyeda et al., 1999). Концентрация белка у взрослых достоверно ( $p < 0.001$ ) выше, чем у щенков тюленей ( $110.09 \pm 5.33$  г/л против  $78.38 \pm 2.59$  г/л). Общей закономерностью, наблюдаемой у различных видов животных, является и возрастное перераспределение белка по фракциям (Парина, 1967; Salatka et al., 1971), причем уровень альбумина несколько снижается по причине уменьшения использования белка для пластических процессов и снижения интенсивности синтеза альбумина в печени. При этом относительная концентрация глобулинов плазмы крови с возрастом увеличивается, что может быть связано с понижением скорости распада глобулинов у взрослых животных. В таблице 1 видно, что в плазме крови взрослых особей повышение уровня общего белка происходит главным образом за счет  $\beta$ -глобулиновой фракции.

Таблица 1

#### Содержание общего белка и распределение его по фракциям в плазме крови гренландских тюленей разного возраста

Возраст	Общий белок, г/л	Белковые фракции (отн.%)			
		альбумин	$\alpha$ -глобулины	$\beta$ -глобулины	$\gamma$ -глобулины
Новорожденные (n=19)	$78.38 \pm 2.59$	$64.01 \pm 1.75$	$11.08 \pm 2.68$	$10.47 \pm 2.13$	$14.44 \pm 1.69$
1,5–2 мес (n=16)	$66.96 \pm 2.39^*$ ( $p < 0.02$ )	$59.50 \pm 2.60$ ( $p > 0.05$ )	$9.93 \pm 1.36$ ( $p > 0.05$ )	$10.59 \pm 1.86$ ( $p > 0.05$ )	$19.98 \pm 2.49$ ( $p > 0.05$ )
1 год (n=4)	$102.65 \pm 1.56^*$ ( $p < 0.001$ )	$54.75 \pm 2.77^*$ ( $p > 0.05$ )	$18.31 \pm 1.84^*$ ( $p < 0.01$ )	$12.53 \pm 1.79$ ( $p > 0.05$ )	$14.41 \pm 0.92$ ( $p < 0.05$ )
2 года (n=3)	$81.97 \pm 7.40$ ( $p < 0.05$ )	$58.32 \pm 5.70$ ( $p > 0.05$ )	$16.45 \pm 3.76$ ( $p > 0.05$ )	$11.01 \pm 1.97$ ( $p > 0.05$ )	$14.22 \pm 2.62$ ( $p > 0.05$ )
3 года (n=3)	$83.40 \pm 2.90$ ( $p > 0.05$ )	$50.88 \pm 1.54^*$ ( $p > 0.05$ )	$23.16 \pm 1.40^*$ ( $p > 0.05$ )	$11.93 \pm 0.96^*$ ( $p > 0.05$ )	$14.03 \pm 1.10$ ( $p > 0.05$ )
Взрослые (n=10)	$110.09 \pm 5.33^*$ ( $p < 0.001$ )	$54.24 \pm 1.50^*$ ( $p > 0.05$ )	$15.52 \pm 0.45$ ( $p < 0.001$ )	$21.53 \pm 0.90^*$ ( $p < 0.001$ )	$8.71 \pm 0.67^*$ ( $p < 0.001$ )

Примечание. n – количество животных; знаком «\*» обозначены статистически достоверные различия по сравнению с показателями новорожденных животных, в скобках указана степень достоверности различий по сравнению с предыдущим возрастом.

Альбумин в плазме крови в процессе выполнения транспортной функции подвергается конформационным изменениям, вследствие чего в русле крови он представлен гетерогенной

системой молекул. Модифицированный альбумин – сборное понятие, так как в эту группу попадают молекулы, обладающие общим свойством – они после обработки в системе трихлоруксусная кислота-этанол теряют способность растворяться в дистиллированной воде. Изменения строения белка выражаются в форме появления разнообразных конформеров, которые, как правило, обогащены углеводами, отсутствующими у нативной фракции этого белка (Троицкий, 1983). Как видно в таблице 2, содержание модифицированного альбумина ( $A_m$ ) минимально у новорожденных особей. После завершения молочного вскармливания (1.5–2 мес) щенки тюленей переходят на самостоятельное питание беспозвоночными и рыбой. Качественные изменения в питании, очевидно, отражаются и на транспортной функции альбумина, подтверждением чего является повышение более, чем в два раза концентрации  $A_m$  в крови. Тот факт, что в дальнейшем содержание  $A_m$  практически не изменяется вплоть до взрослого состояния, подтверждает предположение о решающей роли питания (состава метаболитов, транспортируемых альбумином) в формировании определенного уровня  $A_m$ . Как видно в таблице 2, статистически достоверных различий по этому показателю между животными изученных групп, начиная с 1.5–2-месячного возраста, не отмечено, хотя и намечается тенденция к повышению содержания  $A_m$  у взрослых тюленей. По-видимому, высокая концентрация  $A_m$  у взрослых особей определяется еще и снижением скорости катаболизма модифицированного альбумина. Кроме того, определенный вклад в повышение уровня  $A_m$  вносит усиление лигандирования белка в условиях качественных и количественных изменений метаболитов крови с возрастом. Причем, кроме естественных физиологических изменений можно предполагать и патологические, в частности, заражение гельминтами. Гельминтозная инвазия интенсивно растет с переходом щенков тюленей на самостоятельное питание, в результате половозрелые особи практически на 100% поражены гельминтами, а наибольшая интенсивность инвазии отмечается для беломорских тюленей в возрасте 13–16 лет (Трещев, 1970).

Таблица 2

**Биохимические показатели плазмы крови грeнландских тюленей разного возраста**

Показатели	Новорожденные n=19	1,5–2 мес n=16	1 год n=4	2 года n=4	3 года n=4	Взрослые n=10
Свободный аминный азот, ммоль/л	4.2±0.1	4.2±0.2	2.6±0.1* (p<0.001)	1.4±0.1* (p<0.001)	3.0±0.4* (p<0.02)	3.2±0.1* (p>0.05)
Мочевина, ммоль/л	15.5±1.34	15.7±1.8	10.0±0.9* (p<0.01)	17.7±2.3 (p<0.02)	16.7±0.9* (p>0.05)	11.1±1.6* (p<0.02)
Креатинин, мкмоль/л	154.7±11.7	111.8±6.4*	291.1±1.4* (p<0.001)	194.7±30.7 (p<0.02)	191.7±33.5 (p>0.05)	117.8±5.8* (p<0.05)
Модифицированный альбумин, в % к общему	11.7±0.6	25.4±1.0*	24.8±1.6* (p>0.05)	27.1±2.1* (p>0.05)	28.5±1.9* (p>0.05)	31.4±2.4* (p>0.05)
Глюкоза, ммоль/л	2.2±0.1	3.8±0.5*	6.9±0.4* (p<0.001)	7.7±0.3* (p>0.05)	5.9±0.3* (p<0.01)	2.8±0.5 (p<0.001)
Общие липиды, г/л	11.7±0.6	15.6±0.7*	16.5±0.5* (p>0.05)	11.9±0.8 (p<0.01)	10.4±2.5 (p>0.05)	12.8±0.6 (p>0.05)
Кальций общий, ммоль/л	6.1±0.2	8.0±0.5*	6.3±0.3 (p<0.02)	2.9±0.3* (p<0.001)	2.7±0.1* (p>0.05)	8.5±0.7* (p<0.001)
Фосфор неорг., ммоль/л	2.8±0.1	3.7±0.2*	2.8±0.1 (p<0.001)	1.6±0.1* (p<0.001)	1.5±0.2* (p>0.05)	3.9±0.3* (p<0.001)

Примечание. Обозначения те же, что в табл. 1.

В плазме крови грeнландских тюленей определяли также некоторые метаболиты – глюкозу, общие липиды, свободный аминный азот, мочевину, креатинин, общий кальций, неорганический фосфор. Изменения этих показателей с возрастом неоднозначны (табл.2).

Уровень в плазме крови ряда показателей азотистого обмена (свободный аминный азот, мочевина, креатинин) снижается по мере взросления животных, отражая закономерное снижение интенсивности этой составляющей обмена веществ. Однако, для креатинина отмечено

увеличение концентрации в плазме крови в период 1–2 года по сравнению с новорожденными особями и 1.5–2-месячными животными.

Динамика содержания глюкозы отражает смену механизмов появления в крови этого главного энергетического субстрата. Минимальная концентрация глюкозы отмечена у новорожденных тюленей. Это свидетельствует о том, что сразу после рождения источником энергии является запас глюкозы, доставляемой плоду кровью материнского организма, и глюкоза, образующаяся из лактата и свободных аминокислот. По мере расходования этих запасов главным источником энергии служит жир материнского молока. Данные таблицы 2 демонстрируют повышение уровня глюкозы в крови тюленей, завершивших молочное питание. У взрослых и щенков этот показатель практически одинаков, что отмечается и для других видов ластоногих (Золотарева, 1998). Очевидно, что прирост содержания глюкозы в крови с возрастом происходит в результате глюконеогенеза, в частности из свободных глюкостероидных аминокислот. Кроме того, в раннем онтогенезе ластоногих активно используются углеводные запасы печени и других тканей, о чем свидетельствует высокая активность глюкозо-6-фосфатазы у животных из подростковой группы (Золотарева, 1998; Bailey et al., 1980).

В содержании общих липидов в плазме крови отмечено заметное повышение в период окончания молочного вскармливания и перехода к самостоятельному питанию, после чего уровень этого показателя достоверно снижается в возрасте 2 года и до взрослого состояния практически не изменяется. Это согласуется с данными о значительном уменьшении содержания липидов в крови взрослых тюленей по сравнению с щенками (Bailey et al., 1980). При этом наши исследования позволяют уточнить возраст формирования стабильно низкого уровня липидов благодаря возможности изучения группы молодых тюленей (1–4 года).

Обращает на себя внимание динамика показателей минерального обмена – содержания кальция и фосфора. К окончанию периода молочного вскармливания их концентрация в крови тюленей увеличивается, однако после первого года жизни наблюдается снижение содержания кальция и фосфора, при этом уменьшается также и величина соотношения этих минеральных веществ. В возрасте 2 и 3 года она составляет 1.78 и 1.74, соответственно, тогда как у новорожденных – 2.15, а у взрослых животных – 2.17. По-видимому, наблюдаемая динамика отражает интенсивность вовлечения кальция и фосфора в процессы формирования костной ткани, поскольку именно между первым и вторым годами жизни у тюленей отмечается значительное увеличение длины тела за счет скелета (Keiver et al., 1984).

Таким образом, полученные данные характеризуют естественные возрастные изменения ряда показателей метаболизма белков, углеводов, липидов и минеральных веществ у гренландских тюленей, что рекомендуется учитывать при использовании параметров крови для оценки влияния факторов среды на организм.

*Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 05-04-48388).*

### Литература

- Золотарева Н.Н., 1998. Физиолого-биохимические особенности метаболизма северных морских котиков // Северный морской котик: систематика, морфология, экология, поведение. Ч. 1. М. С.386–405.
- Камышников В.С., 2000. Справочник по клинико-биохимической лабораторной диагностике: В 2т. – Минск: Беларусь. 958с.
- Парина Е.В., 1967. Возраст и обмен белков. Харьков: Изд-во Харьковского ун-та. 204с.
- Сидоров В.С., Юровицкий Ю.Г., Кирилук С.Д., Такшеев С.А., 1990. Принципы и методы эколого-биохимического мониторинга водоемов // Биохимия экто- и эндотермных организмов в норме и при патологии. Петрозаводск. С.5–27.
- Трещев В.В., 1970. Гельминты промысловых морских млекопитающих европейского сектора Арктики: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М. 23с.
- Троицкий Г.В., 1983. Патологическая анатомия белков (дефектные белки). Симферополь. 35с.
- Троицкий Г.В., Борисенко С.Н., Касимова Г.А., 1986. Инвертированный метод обработки электрофоретических диаграмм для выявления модифицированных форм альбумина // Лабор. дело. № 4. С.229–231.
- Хузин Р.Ш., 1972. Эколого-морфологический анализ различий и перспективы промысла гренландского тюленя беломорской, ян-майенской и ньюфаундлендской популяций. Мурманск. 174с.
- Bailey B.A., Downer R., Lavigne D.M., 1980. Neonatal changes in tissue levels of carbohydrate and lipid in the harp seal *Pagophilus groenlandicus* // Comp. Biochem. and Physiol. В 67. N 1. P.179–182.

Engelhardt F.R., 1979. Haematology and plasma chemistry of captive pinnipeds and Cetaceans // *Aquat.Mammals*. V. 7, N 1. P.11–20.

Geraci J.R., Smith T.G., 1975. Functional hematology of ringed seals (*Phoca hispida*) in the Canadian arctic // *J.Fish.Res.Board.Can.* V. 32. P.2559–2564.

Keiver K.M., Draper H.H., Hadley M., Ronald K., 1984. Calcium and phosphorus balance in juvenile harp seals (*Phoca groenlandica*) // *Can. J. Zool.* V. 62. P.777–782.

McConnel L.C., Vaughan R.W., 1983. Some blood values in captive and freelifving common seals (*Phoca vitulina*) // *Aquat/ Mamm.* V. 10, N 1. P.9–13.

Salatka K., Kresge D., Harris J., 1971. Rat serum proteins changes with age // *Exp. Gerontol.* V. 6. P.25–36.

Sepulyeda M.S., Ochoa-Acuna H., Homer B.L., 1999. Age-related changes in hematocrit, hemoglobin, and plasma protein in Juan Fernandez fur seals (*Arctocephalus philippii*) // *Mar. Mammal Sci.* V. 15, N 2. P.575–581.

Timoshenko Yu.K., 1995. Harp seals as indicators of the Barents Sea ecosystem // *Whales, seals, fish and man: Proceedings of the Int.Symp. on the biology of mar.mammals in the North East Atlantic, Tromsø, Norway, 29 nov.-1 dec.1994*. Amsterdam: Elsevier. P.509–523.

## **AGE CHANGES OF BIOCHEMICAL PARAMETERS OF THE WHITE SEA HARP SEAL BLOOD**

**I. A. Erokhina**

Murmansk Marine Biological Institute, Kola Science Centre,  
Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russia  
e-mail: chiv1@front.ru

Results of study of several blood parameters of harp seal (*Pagophilus groenlandicus* Erxleben, 1777) from birth to the adult state are presented. The following age groups of the animals have been studied – newborns, 1.5–2 months, 1 year, 2 years, 3 years, and adults (older than 6 years). The content of total protein and its fractions, free amine nitrogen, urea, creatinine, glucose, total lipids, total calcium, and inorganic phosphorus was determined in the seal blood plasma. Differences of the degree of expression of levels of all studied parameters in the course of early postnatal ontogenesis of the animals have been established. The most significant metabolic changes in the harp seals were revealed in the period of end of weaning and transition to independent ingestion and then after the first year of life.

## **СОСТАВ КРИОФЛОРЫ ПРИБРЕЖНЫХ ЛЬДОВ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ**

**Л.С. Житина, Л.В. Ильяш**

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова,  
г. Москва, Россия, e-mail: Lgitina@mail.ru

Водоросли, населяющие льды, играют важную роль в цикле углерода в полярных экосистемах (Legendre et al., 1992; Gosselin et al., 1997), включая и Белое море (Ильяш и др., 2003). Сведения о флоре льдов Белого моря до настоящего времени немногочисленны. В большинстве работ исследования охватывали непродолжительный период ледового сезона в одном – двух районах моря (Гогорев, 1998; Кособокова и др., 2004; Сажин и др., 2005; Rat'kova, Wassmann, 2005). Наиболее продолжительные наблюдения, охватывающие весь ледовый сезон, проведены в проливе Великая Салма Кандалакшского залива (Михайловский, Житина, 1989), однако при этом был исследован только нижний слой льда. Значительная пространственно-временная вариабильность, характерная для видового состава и обилия ледовых водорослей (Demers et al., 1984; Cota, Smith, 1991; Cota et al., 1991; Monti et al., 1996), определяет необходимость исследования ледовых фитоценов в течение возможно более длительного периода и в разных районах моря.

В настоящей работе представлены данные по видовому составу ледовых водорослей в январе – апреле в трех районах Кандалакшского залива Белого моря.

Материалом для настоящего исследования послужили пробы, собранные в Кандалакшском заливе Белого моря. Пробы льда отбирали кольцевым буром:

1) в проливе Великая Салма на разрезе от берега на 3 станциях, расположенных на расстоянии 20 м друг от друга. Ст. 1 располагалась в 10 м от берега, а ст. 3 – в 50 м от берега. Еще одна станция находилась на расстоянии 5 км от разреза у Киндо мыса.

2) в Кандалакшской губе в 10 км от г. Кандалакши. Станции отбора проб располагались на разрезе от берега к центру залива в 10, 200 и 500 м от берега.

3) в губе Чула вблизи пос. Пулонга. Пробы отбирали на 6-ти точках, отстоящих друг от друга на 50 м.

В ледовом биотопе выявлено 145 таксонов водорослей (табл.), из которых наиболее разнообразно были представлены диатомеи. Среди водорослей отмечены виды с разной биотопической приуроченностью: ледово-неритические, планктонные, литоральные, эпифитные, солоноватоводные, пресноводные. Из зеленых водорослей встречены *Ancylonema nordenskioeldii* и *Ulothrix implexa*, которые могут образовывать скопления на нижней поверхности льда (Мельников и др., 2005), а также *Chlamydomonas nivalis* и *Rhaphidonema nivale*, для которых предпочтительным биотопом является снежный покров (Kol, 1968). Самым малым числом видов были представлены динофитовые водоросли и все они являлись планктонными формами.

#### Криоводоросли Кандалакшского залива Белого моря

№№ п/п	Виды	ББС	Кандалакшская губа	Губа Чула
	<b>Bacillariophyceae</b>			
1	<i>Achnanthes delicatula</i> var. <i>hauckiana</i> (Grunow) Lange-Bertalot et Ruppel			+
2	<i>A. hyperborea</i> Grun.	+		
3	<i>Achnanthes</i> spp.		+	+
4	<i>Amphora laevis</i> Gregory	+	+	+
5	<i>A. macilenta</i> Greg.	+		
6	<i>A. ocellata</i> Donk.	+		
7	<i>A. ovalis</i> Ktz.		+	
8	<i>A. terroros</i> Ehr.	+		
9	<i>Amphora</i> spp. Ehr.	+	+	
10	<i>Asterionella formosa</i> Hass.		+	+
11	<i>Asterionellopsis glacialis</i> (Castracane) F.E.Round			+
12	<i>Attheya septentrionalis</i> (Østrup) Crawford		+	+
13	<i>Aulacosira granulata</i> (Ehr.) Sim.			+
14	<i>Aulacosira italica</i> (Ehr.) Ktz.		+	
15	<i>Bacillaria paxillifera</i> (O.F.Muller) Hendey		+	
16	<i>Berkeleya scopulorum</i> (Brebisson) Cox	+		
17	<i>Caloneis aemula</i> A.S.	+		
18	<i>C. liber</i> W.Sm.	+		
19	<i>C. ventricosa</i> (Ehrenberg) Meister (silicula)	+	+	
20	<i>Caloneis</i> sp.	+		
21	<i>Campilodiscus</i> sp.	+		
22	<i>Chaetoceros ceratosporum</i> Ostenf.	+		
23	<i>C. holsaticus</i> Schütt	+	+	+
24	<i>C. socialis</i> Laud.	+		+
25	<i>C. tenuissimus</i> Meunier			+
26	<i>C. wighamii</i> Bright.	+		
27	<i>Cocconeis scutellum</i> Ehr.	+	+	
28	<i>Coscinodiscus neoradiatus</i> A.Cl.	+		
29	<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	+		
30	<i>Cyclotella</i> sp.	+		
31	<i>Cylindrotheca closterium</i> Reim.et Lewin	+	+	+
32	<i>Diatoma tenuis</i> Agardh		+	
33	<i>Diatoma</i> sp.		+	
34	<i>Diploneis coffaeiformis</i> (A.S.) Cl.	+		
35	<i>D. gemmatula</i> (Grun.) Cl.	+		
36	<i>D. litoralis</i> (Donk.)Cl.	+	+	+
37	<i>Diploneis</i> sp. Ehr.	+		
38	<i>Entomoneis kjellmanii</i> var. <i>kariana</i> (Grunow) Poulin et Cardinal	+	+	+
39	<i>E. paludosa</i> (W.Smith) Reimer	+	+	+

40	<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitt.		+	
41	<i>F. islandica</i> Grun.	+		
42	<i>F. striatula</i> Lyngb.		+	
43	<i>F. ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot			+
44	<i>Fragilariopsis cylindrus</i> (Grun.) Krieger		+	+
45	<i>F. oceanica</i> Cl.	+	+	+
46	<i>Gomphonema</i> sp.	+		
47	<i>Glyphodesmis williamsonii</i> (W.Sm.) Grun.	+		
48	<i>Grammatophora marina</i> (Lyngb.) Ktz.		+	
49	<i>Gyrosigma arcticum</i> Cl.	+		
50	<i>G. tenuissimum</i> var. <i>hyperborea</i> (Grunow) Cleve	+		
51	<i>Leptocylindrus danicus</i> Cl.		+	
52	<i>Licmophora ehrenbergii</i> (Ktz.) Grun.	+	+	
53	<i>L. paradoxa</i> (Lyngb.) Ag.	+		
54	<i>Mastogloea smidtii</i> v. <i>amphycephala</i> Grun.	+		
55	<i>Melosira arctica</i> (Ehr.) Dickie	+	+	+
56	<i>Melosira dubia</i> Ktz.	+		
57	<i>Melosira varians</i> Ag.		+	
58	<i>Navicula algida</i> Grun.	+		
59	<i>N. cancellata</i> Donk.	+	+	
60	<i>N. derasa</i> Grunow	+	+	+
61	<i>N. derasa</i> var. <i>transitans</i> Ross	+	+	+
62	<i>N. digitoradiata</i> (Greg.) A.S.	+		+
63	<i>N. directa</i> W.Sm.	+	+	+
64	<i>N. kariana</i> var. <i>curta</i> (Cleve) Ross (gelida)	+		+
65	<i>N. gelida</i> var. <i>subimpressa</i> Grunow	+		
66	<i>N. glacialis</i> Cl.	+		+
67	<i>N. granii</i> (Jorg.)Gran	+	+	+
68	<i>N. grevillei</i> Ag.	+		
69	<i>N. kariana</i> Grun.	+		
70	<i>N. kryokonites</i> Cl.			+
71	<i>N. latissima</i> Greg.	+		
72	<i>N. lineola</i> Grun.	+		
73	<i>N. pelagica</i> Cl.	+	+	+
74	<i>N. placentula</i> v. <i>rostrata</i> A.Mayer	+		
75	<i>N. punctulata</i> v. <i>pagophila</i> Grun.	+		
76	<i>N. pussila</i> W. Sm.			+
77	<i>N. septentrionalis</i> (Grun.)Gran	+		+
78	<i>N. subtilissima</i> Cl.	+		
79	<i>N. valida</i> Cl. et Grun.	+		
80	<i>N. vanhoeffenii</i> Gran	+	+	+
81	<i>N. sp.</i> №1	+		
82	<i>N. sp.</i> №2	+		
83	<i>Navicula</i> sp.	+	+	+
84	<i>Nitzschia angularis</i> W.Sm.	+		+
85	<i>N. distans</i> Greg.	+		
86	<i>N. frigida</i> Grun.	+	+	+
87	<i>N. holsatica</i> Hust.			+
88	<i>N. longissima</i> (Breb.) Ralfs	+	+	+
89	<i>N. macilenta</i> Greg.	+		
90	<i>N. marginulata</i> Grun.	+		
91	<i>N. mitchelliana</i> Greenloaf		+	
92	<i>N. pellucida</i> Grun.		+	+
93	<i>N. polaris</i> Grun.	+		+
94	<i>N. scabra</i> Cl.	+	+	+
95	<i>N. sigmoidea</i> (Ehr.) W.Sm.	+		
96	<i>N. tryblionella</i> Hantzsch.	+		
97	<i>Nitzschia</i> spp.	+	+	+
98	<i>Odontella aurita</i> (Lygb.) Ag.	+		
99	<i>Paralia sulcata</i> (Ehr.) Cl.	+	+	+
100	<i>Pauliella taeniata</i> (Grunow) Round et Basson	+	+	+
101	<i>Pinnularia</i> sp. Ehr.	+		
102	<i>Plagiogramma stauroporum</i> (Greg.) Helb.	+		



103	<i>Pleurosigma elongatum</i> W.Smith	+		
104	<i>P. longum</i> Cl.	+		
105	<i>P. normanii</i> Ralfs	+		
106	<i>P. stuxbergii</i> Cl.	+		
107	<i>P-g. kamschaticum</i> (Grunow) Medlin	+		
108	<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> (Cl.) Heiden	+	+	+
109	<i>Pseudo-nitzschia seriata</i> (Cl.) H.Peragello	+	+	+
110	<i>Rhabdonema arcuatum</i> (Lyngb.) Ktz.	+		
111	<i>R. minutum</i> Ktz.	+		+
112	<i>Rhoicosphaenia curvata</i> (Ktz.) Grun.	+	+	
113	<i>Skeletonema costatum</i> (Grev.) Cl.	+	+	
114	<i>Synedra kamtzschatica</i> Grun.	+		
115	<i>S. taxoneides</i> Castr.	+		
116	<i>Synedropsis hyperborea</i> (Grun.) Hasle	+		+
117	<i>Tabularia fasciculata</i> (Agardh) Williams et Round			+
118	<i>Thalassionema nitzschioides</i> (Grun.) Grun.et Hust.		+	+
119	<i>Thalassiosira angulata</i> (Greg.) Hasle	+		
120	<i>T. gravida</i> Cl.		+	+
121	<i>T. hyperborea</i> (Grun.) Hasle	+		
122	<i>T. nana</i> Lohmann	+		
123	<i>T. nordenskioldii</i> Cl.	+	+	
124	<i>Tropidoneis</i> sp.	+		
	<b>Dinophyta</b>			
125	<i>Dinophysis rotundata</i> Clap. et Lachm.	+		
126	<i>Peridiniella catenata</i> (Levander) Balech			+
127	<i>Protoperidinium groenlandicum</i> (Wolosz.) Balech	+		
128	<i>P. pallidum</i> Ostenf.	+		
	<b>Euglenophyta</b>			
129	<i>Euglena</i> sp.	+	+	+
130	<i>Eutreptia viridis</i> Perty	+		
131	<i>Trachelomonas volvacina</i> Ehr.	+		
	<b>Chlorophyta</b>			
132	<i>Ancylonema nordenskioldii</i> Berggren		+	
133	<i>Carteria multifilis</i> (Fres.) Dill	+		
134	<i>Chlamydomonas nivalis</i> (Bau.) Wille	+		
135	<i>Chlamydomonas</i> sp.			+
136	<i>Oocystis borgei</i> Snow			+
137	<i>O. lacustris</i> Chodat			+
138	<i>Rhaphidonema nivale</i> Lagerh.			+
139	<i>Scenedesmus quadricauda</i> var. <i>bicaudata</i> Dedussenko		+	
140	<i>Ulothrix implexa</i> (Kutz.) Kutz.			+
	<b>Cyanophyta</b>			
141	<i>Gloeocapsa turgida</i> (Ktz.) Hollerb.	+		
142	<i>Gloeocapsa</i> sp.	+		+
143	<i>Gomphosphaeria apponina</i> Ktz.	+		
144	<i>G. lacustris</i> f. <i>compacta</i> (Lemm.) Elenk.			+
145	<i>Merismopedia punctata</i> Meyen	+		
	<b>Неидентифицированные жгутиковые</b>	+		

Найденное число видов водорослей меньше, чем таковое, идентифицированных к настоящему времени в ледовых фитоценах Белого моря (205 таксонов) (Ильяш и др., 2003; Житина, Ильяш, 2009). Вероятно, реальное число видов водорослей в исследованных районах выше, поскольку нами не были определены до вида некоторые мелкие жгутиковые. Во льдах пролива Великая Салма найдено 108 таксонов, в губе Чупа 57 таксонов, а в Кандалакшской губе – 51 таксон. Такое различие в видовом богатстве в отдельных районах может быть обусловлено абиотическими факторами (соленость, температура, освещенность, подледные течения, структура и направление нарастание льда и т.д.), а также межгодовой вариабельностью (Demers et al., 1984; Cota et al., 1991; Monti et al., 1996).

Видовые составы ледовой флоры трех исследованных районов достоверно ( $p=0,01$ ) различаются между собой. Их сходство составляло 0,61 (между фитоценами пролива Великая Салма и губы Чупа) и 0,63 (между фитоценами пролива Великая Салма и Кандалакшской губы и губы Чупа и Кандалакшской губы). В пределах каждого исследованного района сходство видового состава

фитоценов между парами станций варьировало по сезону в широких пределах и могло быть меньше сходства между флорами районов. Это свидетельствует о значительной микро- и мезомасштабной пространственной вариабильности ледовых фитоценов, отмечаемой в других арктических районах (Cota, Smith, 1991; Monti et al., 1996).

В каждом из исследованных районов не выявлено выраженной тенденции изменения пределов варьирования показателя сходства видового состава ледовых фитоценов между парами станций по сезону. Во льдах губы Чупа, где исследовано наибольшее число станций, сходство видового состава фитоценов не зависело от расстояния между станциями на разрезе протяженностью 250 м. При этом сходство ледовых фитоценов на станциях, расположенных на расстоянии даже 50 м друг от друга могло быть ниже сходства видового состава фитоценов этого района и фитоценов пролива Великая Салма (0,61) и Кандалакшской губы (0,63).

Во всех районах наиболее высокое видовое богатство было характерно для диатомовых водорослей. По числу видов и разнообразию биотопической приуроченности преобладали пennisные диатомеи, что характерно не только для Белого моря, но и для ледовых флор всех морей Российской Арктики (Житина, Ильяш, 2009), а также разных районов Канадской Арктики (Hsiao, 1983). Хотя в отдельных районах центрические диатомеи могут преобладать по числу видов, как это было отмечено для паковых льдов Баренцева моря (Ratkova, Wassmann, 2005).

Состав водорослей, дававших наибольший вклад в биомассу, варьировал по сезону, между станциями в каждом из исследованных районов и между районами. Среди доминирующих видов присутствовали не только типично ледово-неритические формы, такие как *Nitzschia frigida*, *Pauliella taeniata*, *Entomoneis kjellmanii* var. *kariana*, *E. paludosa*, *Pleurosigma stuxbergii*, *Navicula pelagica*, *Fragilariopsis oceanica*, но и неритические (*Thalassiosira gravida*), литоральные (*Amphora laevis*, *Nitzschia marginulata*, *Navicula kariana* var. *curta*), пресноводные (*Gomphosphaeria lacustris*, *Ulothrix implexa*, *Diatoma* sp.), и водоросли, чьим предпочитаемым биотопом является снежный покров (*Raphidonema nivale*).

#### Литература

- Гогорев Р.М. 1998. Диатомовые водоросли поздневесеннего льда Белого моря. // Новости систематики низших растений. Т.32. С. 8–13.
- Житина Л.С., Ильяш Л.В. 2009. Видовой состав ледовых диатомовых водорослей морей Российской Арктики // Арктика и Антарктика. В.7(41). С.115–149.
- Ильяш Л.В., Житина Л.С., Федоров В.Д. 2003. Фитопланктон Белого моря. М.: Янус-К. 168 с.
- Кособокова К.Н., Пантюлин А.Н., Рахор А., Ратькова Т.Н., Шевченко В.П., Агатова А.И., Лапина Н.М., Белов А.А. 2004. Комплексные океанографические исследования в Белом море в апреле 2003 г. // Океанология. Т. 44, № 2. С. 313–320.
- Мельников И.А., Дикарев С.Н., Егоров В.Г., Колосова Е.Г., Житина Л.С. 2005. Структура прибрежной экосистемы льда в зоне взаимодействия река-море // Океанология. Т. 45, № 4. С. 542–550.
- Михайловский Г.Е., Житина Л.С. 1989. Криопланктонная флора Белого моря и её сезонная динамика, выявленная методом корреляционного анализа // Океанология. Т.29, №5. С. 796–803.
- Сажин А.Ф., Ратькова Т.Н., Кособокова К.Н. 2005. Население прибрежного льда Белого моря в ранневесенний период // Океанология. Т. 44, № 1. С. 92–100.
- Cota G.F., Smith R.E.H. 1991. Ecology of bottom ice algae. II. Dynamics, distributions and productivity // J. Mar. Sys. V. 2. P. 279–295.
- Cota G.F., Legendre L., Gosselin M., Ingram R.G. 1991. Ecology of bottom ice algae. I. Environmental controls and variability // J. Mar. Sys. V. 2. P. 257–277.
- Demers S., Theriault J.-C., Descolas-Gros C. 1984. Biomasse et composition spécifique de la microflore des glaces saisonnières: influences de la lumière et de la vitesse de congèlation // Marine Biol. V. 78. P. 185–191.
- Gosselin M., Levasseur M., Wheeler P.A., Horner R.A., Booth B. 1997. New measurements of phytoplankton and ice algae production in the Arctic Ocean // Deep-Sea Res. V. 44. P. 1623–1644.
- Hsiao S.I.C. 1983. A checklist of marine phytoplankton and sea ice microalgae recorded from Arctic Canada // Nova Hedwigia. V. 37. P. 225–313.
- Kol E. Kryobiologie (biologie und limnologie des Schnees und Eises). 1. Kryovegetation. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 1968. 216 P.
- Legendre L., Ackley S.F., Dieckmann G.S., Gulliksen B., Horner R., Hoshiai T., Melnikov I.A., Reeburgh W.S., Spindler M., Sullivan C.W. 1992. Ecology of sea ice biota. 2. Global significance // Polar Biol. V. 12. P. 429–444.

Monti D., Legendre L., Therriault J.-C., Demers S. 1996. Horizontal distribution of sea-ice microalgae: environmental control and spatial processes (southeastern Hudson Bay, Canada) // Mar. Ecol. Pr. Series. V. 133. P. 229–240.

Ratkova T.N., Wassmann P. 2005. Sea ice algae in the White and Barents seas: composition and origin // Polar Res. V. 24 (1–2). P. 95–110.

## О ГЕНЕТИЧЕСКОМ И МОРФОЛОГИЧЕСКОМ РАЗНООБРАЗИИ *MYTILUS EDULIS* КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ

Е.А. Жуковская

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия

e-mail: zhukovskaya@mail.ru

### Введение

В начале 70-х годов появляются работы, посвященные изучению биоразнообразия и популяционной структуры моллюсков рода *Mytilus*, являющихся традиционным объектом промысла и культивирования, имеющих широкое распространение и играющих важную роль в морских экосистемах. В основу большинства работ было положено широкое использование электрофоретически выявляемых полиморфных ферментных локусов, частоты аллелей и генотипы которых могут служить генетическими маркерами при изучении организации популяционной структуры и процессов происходящих внутри популяции (Tracey et al., 1975; Gosling, 1979; Koehn et al., 1984; McDonald, Siebenaller, 1989). В настоящее время доказано, что антропогенное влияние на окружающую среду приводит к разрушению биоценозов, к сокращению внутривидового разнообразия и к обеднению генофонда вида (Алтухов, 2003). Для выявления необратимых процессов в природе необходим постоянный мониторинг генетического и морфологического разнообразия природных скоплений. В задачу данной работы входило исследование генетического и морфологического разнообразия поселений *Mytilus edulis* Кандалакшского залива на основе использования биохимико-генетических маркеров.

### Материал и методы

Материалом для исследования послужили 7 выборок беломорских мидий (*Mytilus edulis* L.), собранные из естественных поселений в июле 1991 года, с разных участков литорали и верхней сублиторали Кандалакшского залива: 1 – пос. Лувеньга; 2 – Нефтебаза (ж/д ст. Белое море); 3 – губа Ковда; 4 – Кислая губа, кут (окрестности ББС МГУ), 5 – Круглая бухта, губа Чупа; 6 – пролив Оборина Салма (окрестности МБС СПбГУ), 7 – о. Соностров. Исследование генетического разнообразия проводили на основании распределения частот аллелей полиморфных локусов лейцинаминопептидазы (*Lap*) и неспецифических эстераз (*Est*), полученных при помощи метода электрофореза в полиакриламидном геле с системой прерывистых буферов. В основу морфологической обработки материала были положены общепринятые морфологические измерения, используемые обычно при описании и идентификации раковин (Невеская, 1965; Скарлато и Старобогатов, 1979, McDonald et al., 1991) и на их основе рассчитаны индексы отношения: высоты створки к её длине ( $H/L$ ); выпуклости створки к её длине ( $Con/L$ ); веса створки к произведению её длины, высоты и выпуклости ( $P/L \times H \times Con$ ); длины аддуктора к длине ретрактора ( $La/Lr$ ); длины ретрактора к длине створки ( $Lr/L$ ); длины аддуктора к его ширине ( $La/Wa$ ); ширины ретрактора к его длине ( $Wr/Lr$ ). По каждому индексу вычисляли основные статистические параметры: среднее значение ( $M$ ), ошибку средней ( $m$ ), среднее квадратическое отклонение ( $\sigma$ ), коэффициент вариации ( $C.V.$ ). Статистическое сравнение выборок проводили с применением критериев Стьюдента ( $t_d$ ), Фишера с использованием  $F$ -преобразования, а также Пирсона ( $\chi^2$ ).

### Результаты и обсуждение

Сравнительный анализ электрофореграмм показал, что по каждому локусу во всех выборках распределение генотипов соответствует закону Харди-Вайнберга. Частоты аллелей обоих локусов для каждой выборки приведены в таблице 1.

Таблица 1

Распределение частот аллелей исследованных локусов *Lap* и *Est* в выборках *M.edulis*

№ выборки	Частота аллеля											
	<i>Lap</i>							<i>Est</i>				
	N	A	B	C	D	E	$\chi^2$	N	A	B	C	$\chi^2$
1	80	0.025	0.325	0.475	0.175	-	1.29	76	0.158	0.553	0.289	1.67
2	70	0.043	0.364	0.436	0.157	-	3.16	70	0.500	0.464	0.036	1.61
3	150	0.010	0.253	0.590	0.147	-	12.39	80	0.044	0.600	0.356	2.89
4	80	0.012	0.188	0.625	0.175	-	2.41	52	0.250	0.317	0.433	2.86
5	145	0.028	0.297	0.500	0.155	0.020	5.84	61	0.213	0.533	0.254	6.72
6	70	0.036	0.371	0.429	0.114	0.050	3.09	70	0.278	0.529	0.193	5.41
7	64	0.047	0.328	0.398	0.164	0.063	3.01	64	0.218	0.508	0.274	1.13

Примечание. Обозначение выборок см. материал и методы.

$Lap\chi^2_{0.95}(j=10) = 18.3$

$Est\chi^2_{0.95}(j=3) = 7.84$

Как видно из приведенных данных распределение частот аллелей обоих локусов неравномерно в каждой выборке. По локусу *Lap* ведущим является аллель С. Его частота по выборкам колеблется от 0.398 до 0.625 при средней 0.493, а частота аллеля В от 0.188 до 0.371 при средней 0.304. Частота остальных аллелей этого локуса значительно меньше. Их средние составляют: А – 0.029, D – 0.155, Е – 0.046. По локусу *Est* ведущим является аллель В с частотой колебания от 0.317 до 0.600 при средней 0.500, а частоты аллелей А и С колеблются в пределах 0.044 – 0.500 при средней 0.237 и 0.036 – 0.433 при средней 0.262. Необходимо отметить, что редкий аллель Е локуса *Lap* встречался только у трех выборок № 5, 6, 7 собранных в районе губы Чупа. Попарное сравнение выборок по частотам аллелей выявило ряд достоверных различий между ними (табл.2). В среднем каждая выборка достоверно отличается от 5 других по частоте встречаемости какого-либо аллеля.

Таблица 2

Сравнение выборок *M.edulis* по частотам аллелей исследованных локусов *Lap* и *Est* (критерий Фишера с использованием  $\phi$  – преобразования)

№ выборки	1	2	3	4	5	6	7	<i>Lap</i>
1	*	-----	--++	-++--	-----+	-----+	-----+	
2	++-	*	++++	-++--	-----+	-----+	-----+	
3	+-	+++	*	-----	-++-+	-++-+	-++-+	
4	++	+++	++-	*	-++-+	-++-+	-++-+	
5	---	++-	++-	-++	*	-----	-----	
6	++-	++-	++-	-++	---	*	-----	
7	---	++-	++-	-++	---	---	*	
<i>Est</i>								<i>Est</i>

Примечание. Сравнение частот аллелей А, В, С, D, Е по исследованным локусам.

Наличие достоверных различий отмечено знаком +, отсутствие – .

На рис. 1 приводится распределение выборок по частотам аллелей С обоих локусов в системе двух координат. Из приведенных данных видно, что выборки образуют три группы. Различия между группами столь велики, что даже доверительные интервалы с вероятностью 0.95 не перекрываются. В I группу входят выборки № 3 и № 4. Эти выборки достоверно не различаются между собой по частотам аллелей С исследованных локусов *Lap* и *Est*, но с высокой степенью достоверности, практически без перекрывания доверительных интервалов, отличаются от выборок остальных групп. Во II группу вошли четыре выборки (№ 1, 5, 6, 7), которые без перекрывания интервалов отличаются от выборок I группы по частотам аллелей С обоих локусов, а также отличаются от III группы по частоте аллеля С локуса *Est*. Несмотря на ряд достоверных различий, доверительные интервалы выборок этой группы перекрываются и поэтому нельзя в этой группе выделить по данным локусам какие либо подгруппы. В III группу вошла выборка № 2, отличающаяся с высокой степенью достоверности, без перекрывания доверительных интервалов, по частотам аллелей С обоих локусов от выборок I группы и по частоте аллеля С локуса *Est* от выборок II группы.

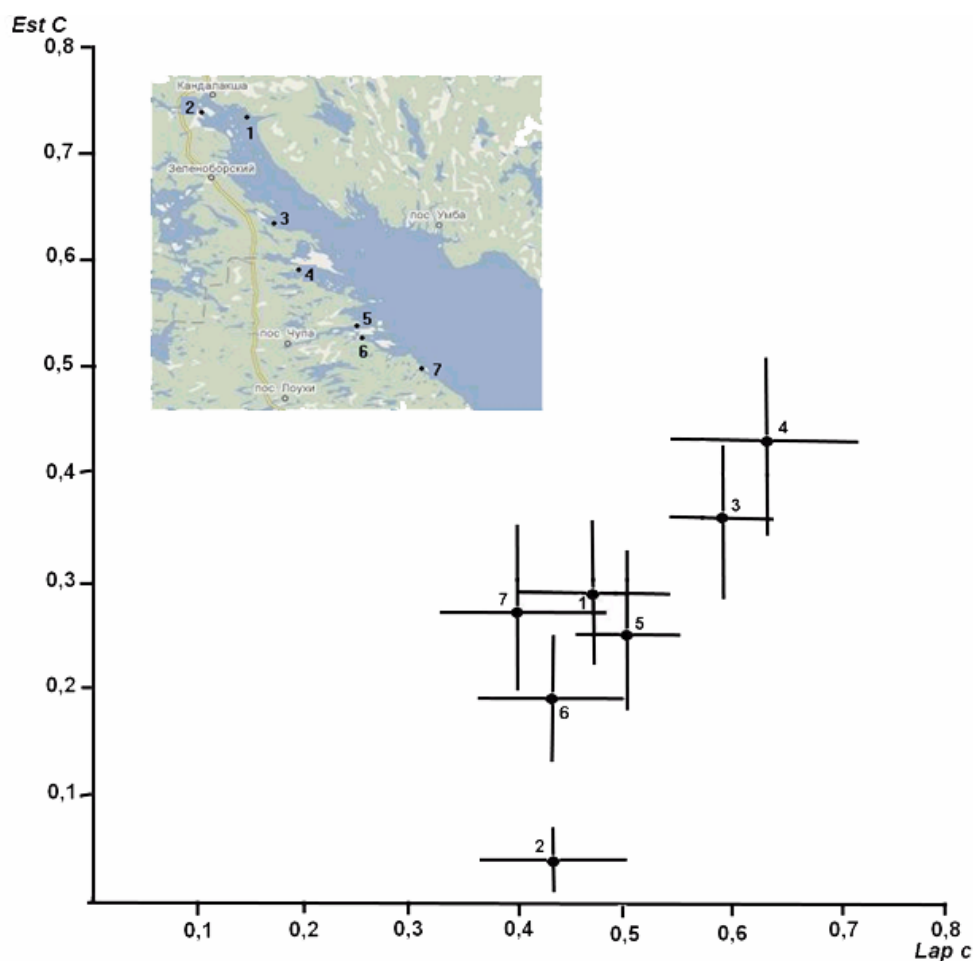


Рис.1. Распределение выборок в системе координат по частотам аллелей исследованных локусов. Точка – частота аллеля в выборке, тонкие линии – доверительные интервалы при  $p = 0,05$ . На карте Кандалакшского залива места сбора выборок отмечены точками. 1 – пос. Лувеньга; 2 – Нефтебаза (ж/д ст. Белое море); 3 – губа Ковда; 4 – Кислая губа, кут (окрестности ББС МГУ), 5 – Круглая бухта, губа Чупа; 6 – пролив Оборина Салма (окрестности МБС СПбГУ), 7 – о. Соностров

Таблица 3

Результаты статистического сравнения выборок по морфологическим индексам (критерий Стьюдента  $t_d$ )

№ выборки	2	3	4	5	6	7
1	-++-+-+	-----	+++++-+	+--+++	-++-+-+	++++++
2	*	-++-+-+	+--+++	+++++-+	-++-+-+	+++++-+
3		*	+++++-+	+--+++	++++++	-+++++
4			*	+++++-+	+++++-	-++-++
5				*	++++-	+++++-
6					*	+++++-

Примечание. Расположение сравнений морфологических индексов в ячейке:

H/L, Con/L, P/(L\*H\*Con), La/Lr, Lr/L, La/Wa, Wr/Lr.

Наличие достоверных отличий отмечено знаком +, отсутствие -.

Обозначение выборок см. на рис.1.

В таблице 3 представлены результаты статистического сравнения выборок по семи морфологическим индексам. Анализ результатов попарного сравнения выборок по морфологическим индексам показал чрезвычайную вариабельность выборок, определяющих форму раковины. Необходимо отметить, что выборка № 1 из пос. Лувеньга не имела достоверных различий ни по одному морфологическому индексу с выборкой № 3 из губы Ковда, но достоверно отличалась по семи морфологическим индексам от Соностровской выборки № 7 и по шести от выборки № 4 из Кислой губы. Ка-

жая выборка в среднем отличается от другой по 5 морфологическим индексам. Выборки, собранные из района губы Чупа (№ 5, № 6 и № 7) не имели достоверных различий по индексам Lr/L, La/Wa, отражающих форму аддуктора и ретрактора. Наиболее вариabельным оказался признак P/(L\*H\*Con) по средним значениям которого достоверно различались все выборки и Con/L, по которому достоверно различалось большинство выборок.

### Выводы

Таким образом, проведенный по биохимико-генетическим признакам анализ показал генетическую неоднородность локальных поселений мидий *Mytilus edulis* Кандалакшского залива и выявил её структурированность в виде трех дискретно различающихся групп выборок. На основании полученных данных пока трудно диагностировать причину различий между группами. С одной стороны она может быть сугубо генетической, связанной с ослаблением миграции личинок между поселениями мидий. С другой стороны различия между группами могут быть связаны с различной экологией участков, с которых брали пробы. Кроме того, возможно совместное действие этих факторов. Для выяснения этого вопроса требуются дальнейшие биохимико – генетические исследования с параллельным изучением экологических условий залива.

Анализ морфологического разнообразия показал большую вариabельность локальных поселений мидий по морфологическим индексам. Наиболее изменчивым были индексы отношения: веса створки к произведению её длины, высоты и выпуклости (P/L×H×Con), и выпуклости створки к её длине (Con/L). Столь значительное разнообразие выборок по форме раковин определяется, очевидно, различными экологическими условиями в местах обитания мидий.

### Литература

- Алтухов Ю.П., 2003. Генетические процессы в популяциях. М.: ИКЦ «Академкнига». 431 с.
- Невесская Л.А., 1965. Позднечетвертичные двустворчатые моллюски Черного моря, их систематика и экология. М.: Наука. Т. 105. 386 с.
- Скарлато О.А., Старобогатов Я.И., 1979. Положение в систематике и распространение мидий // Промысловые двустворчатые моллюски-мидии и их роль в экосистемах. Л.: Зоол. ин-т. С. 106–111.
- Gosling E., 1979. Hidden genetic variability in two populations of a marine mussel // Nature. V. 279. № 5715. P. 713–715.
- Koehn R.K., Hall G.J., Jnnes D.J., Zera A.J., 1984. Genetic differentiation of *M. edulis* in eastern North America // Marine Biol. V. 79. P. 117–126.
- McDonald J.H., Siebenaller A., 1989. Similar geographic variation at the Lap locus in the mussel *Mytilus trossulus* and *M. edulis* // Evolution. V. 43. № 1. P. 228–231.
- McDonald J.H., Seed R., Koehn R.K., 1991. Allozymes and morphometric characters of three species of *Mytilus* in the Northern and Southern Hemispheres // Mar.Biol. V. 111. P. 323–333.
- Tracey M.L., Bellet N.F., Gravem C.D., 1975. Excess allozyme homozygosity and breeding structure in the mussel *Mytilus californianus* // Mar.Biol. V. 32. № 3. P. 303–311.

## ON GENETICAL AND MORPHOLOGICAL DIVERSITY OF *MYTILUS EDULIS* IN THE KANDALAKSHA BAY OF THE WHITE SEA

E.A. Zhukovskaya

Biological Faculty, the Moscow State University (named after Lomonosov), Moscow, Russia  
e-mail: zhukovskaya@mail.ru

The genetic and morphological variety of seven natural settlements of mussels *Mytilus edulis* from the Kandalaksha bay of the White Sea was studied. The analysis of the distribution of frequencies alleles polymorphic loci leucine aminopeptidase (*Lap*) and nonspecific esterase (*Est*), received by the electrophoresis in polyacrylamide gel, has shown genetic heterogeneity of local settlements of mussels in the Kandalaksha bay and has revealed its structure in the form of three discretely differing groups samples. It was shown that the samples are diverse in every studied morphological character and the degree of characters' variability in the samples is different. The most variable indexes were: weight to multiplication of length, height and convexity of a shell (P/L×H×Con), and convexity to length (Con/L). The given effect can be considered as the result of the influence of ecological conditions on growth and formation of the shells.

## ПОПУЛЯЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БОКОПЛАВОВ В ЛИТОРАЛИ ГУБЫ ЧУПА (БЕЛОЕ МОРЕ)

М.И. Задевалова

Учреждение Российской академии наук Зоологический институт РАН,  
г.Санкт-Петербург, e-mail:mar-z7@yandex.ru

### Введение

Амфиподы являются типичным компонентом литоральных сообществ Белого моря, могут играть значительную роль в биоценозах. По данным В.В. Азарова (1963), бокоплавы нередко являются одним из основных компонентов пищи маслюков, молоди трески, составляя до 30 % пищевого рациона рыб. *Anonix pygax*, *Apherusa tridentata* часто попадаются в желудках корюшки, наваги, *Pontoporeia femorata* в желудках камбал, лососевых (Азаров, 1963; Buschkiel, 1931), а в некоторые сезоны рыбы полностью переходят на питание бокоплавами (Азаров, 1963; Шестопал, 1981 и др.). Как показывают многочисленные исследования питания птиц, массовые виды литоральных гаммарусов играют важную роль как кормовой объект сизой чайки, кулика-сороки, обыкновенной гаги и многих других (Перцов, 1952; Дорош, 1963 и др.). Интенсивность выедания гаммарусов птицами варьирует в зависимости от сезона (Виноградов, 1950). Но в целом в год близка к 20% общей биомассы этих животных (Перцов, 1952).

Проводились исследования, касающиеся пищевой ценности бокоплавов. Так, в результате опытов по определению эффективности откорма молоди семги, проведенных на Княженском рыбозаводе, было установлено, что при введении рачков в кормовой рацион семги у рыб увеличился темп роста, повысилась жизнестойкость (Брызгин и др., 1982). Сходные результаты получены при экспериментальном откорме молоди горбуши рачками *Gammarus (Lagunogammarus) oceanicus* (Мартыненко, 1979).

Видовой состав и особенности распространения сем. Gammaridea в различных районах Белого моря изучались многими исследователями (Гурьянова, 1951; Булычева, 1957; Брызгин, 1982; Голиков, 1988 и др.). Эти ракообразные составляют типичный, но сравнительно слабо исследованный компонент беломорских литоральных сообществ, что во многом объясняется очевидными трудностями количественного учета таких подвижных организмов. До 70 годов прошлого века при описании структуры бентосных сообществ Gammaridea часто вообще не учитывали. И на сегодняшний день недостаточно исследована роль бокоплавов в природных сообществах. В связи с этим целью работы стало – изучение популяционных характеристик литоральных видов бокоплавов в типичных местообитаниях в районе Керетского архипелага. В задачи работы входило изучение: абиотических и биотических условий обитания бокоплавов; их видового состава в литоральной зоне; сезонной и межгодовой динамики структуры их поселений.

### Материал и методы

Наблюдения проведены летом 2005–2008 гг. в акваториях Керетского архипелага, Кандакшского залива Белого моря (в районе МБС СПбГУ, 66°, 33°). Для изучения были выбраны три участка литорали, различающихся по условиям гидродинамики и характеристикам донных отложений: каменистая литораль о-ва Матренин в условиях сильных приливо-отливных течений (1), илисто-песчаная с крупными камнями литораль в открытой прибойной зоне о-ва Кереть (2), илисто-песчаная литораль в проливе Подпахта (3). Пробы отбирали отдельно в верхнем (ВГЛ), среднем (СГЛ) и нижнем (НГЛ) горизонтах литорали. В 2005 году сбор материала осуществлен только в НГЛ участков 1 и 2. Для учета макрозообентоса в этих местообитаниях применяли пирамиду выборочных площадок размером от 0,01 до 0,25 м<sup>2</sup> (всего на каждом участке взято по 20 проб). Летом 2006–2007 годов для сбора материала использовали зубчатый водолазный дночерпатель с площадью захвата 0,05 м<sup>2</sup>. В эти сезоны на каждой станции взято по 7–8 проб. Для изучения изменений структуры поселений бокоплавов в течение лета 2007 года материал был собран в этот сезон дважды – в начале июня и сентября. Животных во всех пробах определяли по возможности до вида, взвешивали и сосчитывали. Видовая идентификация не произведена для бокоплавов размером менее 5–6 мм, такие особи были объединены в общую размерную группу (ювенильная группа).

## Результаты и обсуждение

В составе сообществ макрозообентоса всего обнаружено 23 таксона, только 13 из которых оказались общими для трех участков. По биомассе в большинстве биотопов преобладали двустворчатые моллюски *Mytilus edulis* L., составляющие 60–94% суммарной биомассы макрозообентоса. Только на закрытом участке илисто-песчаной литорали на участке 3 в отдельные сезоны доминировали брюхоногие моллюски *Littorina* spp., *Hydrobia* sp. и представители инфауны двустворчатые моллюски *Macoma balthica* L.. По численности в сообществах преобладали брюхоногие моллюски *Littorina* spp. и *Hydrobia* sp., достигая от 30 до 90% суммарной численности макрозообентоса и 60–99 % по биомассе в сообществах.

Практически во всех местообитаниях бокоплавы заметно уступали по показателям обилия представителям других групп животных. Доля бокоплавов в общей биомассе сообществ составляла 2–4 % практически за весь период наблюдений за исключением станции 3 (НГЛ) в июне 2007 года (8%). В целом для затишного участка илисто-песчаной литорали (участок 3) отмечено несколько большее значение бокоплавов в сообществе по биомассе, чем на остальных участках.

В течение периода исследований максимальная численность амфипод отмечена на участке 2 – 3240 экз./м<sup>2</sup>. Здесь они в отдельные наблюдения даже доминировали по численности в сообществе, составляя 28–32% общей численности макрозообентоса. На других участках доля бокоплавов редко превышала 8% общей плотности поселений организмов макрозообентоса за исключением осенних сборов в 2007 году, когда они доминировали по численности и в СГЛ участка 3, составляя 34% суммарной численности сообщества макробентоса. В качестве общей тенденции сезонных изменений численности бокоплавов на станциях следует отметить увеличение данного показателя в несколько раз в сентябре 2007 года по сравнению с результатами июньских сборов. Достоверных межгодовых смещений в численности бокоплавов (по данным сборов на одних и тех же станциях в аналогичные сезоны) не обнаружено, что в основном объясняется значительной ошибкой учета этих животных – обычно ошибка не менее 30%, чаще выше 40%.

Следует отметить, что анализируемые нами участки представляли обычные биотопы осушенной зоны Белого моря. Количество обнаруженных видов в местообитаниях (23), доминирующие по численности и биомассе таксоны (двустворчатые моллюски *Mytilus edulis*, брюхоногие моллюски *Littorina* spp. и *Hydrobia* sp.) – все это укладывается в известные представления о биологической структуре литорали Белого моря (Луппова, 2003). Различия в структуре представленных на участках сообществах макрозообентоса вполне согласуются с их расхождением по прибойности и характеру грунта.

На всех участках бокоплавы заметно уступали по численности и биомассе представителям других групп животных. Доля амфипод в создании суммарной биомассы сообществ обычно не превышала 4 %, лишь в одном случае достигла почти 8% (участок 3, июньские сборы). Аналогичные обстоятельства отмечала Н.Л. Цветкова (1975, 1985) при оценке роли бокоплавов в различных биоценозах губы Чупа. Хотя в ряде изученных ею сообществах данной акватории бокоплавы и образовывали достаточно высокую численность и биомассу, ни в одном из них не являлись руководящими видами, в противоположность биоценозам высоких широт Арктики, где отдельные таксоны данной систематической группы доминировали в донных сообществах (Голиков, Аверинцев, 1977).

В анализируемых местообитаниях обнаружено четыре вида амфипод: *Gammarus setosus*, *G. zaddachi*, *G. oceanicus* и *G. duebeni* (табл.). Все таксоны относятся к наиболее распространенным в литоральной зоне изучаемой акватории (Цветкова, 1975). Отмеченные нами показатели обилия бокоплавов (6–586 экз./м<sup>2</sup>) в летние месяцы вполне соответствуют аналогичным показателям данных видов в других районах губы Чупа (Бек 1977; Цветкова 1985).

Общей особенностью структуры поселений бокоплавов в конце июня-июля на всех станциях являлось преобладание неполовозрелых особей размером в основном 3–5 мм. Ювенили составляли от 57% до 98% суммарной численности Gammaridea. Доминирование молоди *G. oceanicus* и *G. zaddachi* в летних поселениях данного вида в губе Чупа в июле отмечала Цветкова (1985). Самки бокоплавов в литоральных беломорских поселениях способны в течение лета дать три генерации молоди: первая выходит из марсупиумов в конце апреля, мае, вторая – в июле, третий приплод в августе (Бек 1980). Таким образом, обнаруженная нами молодь, по-видимому, относится к первому и в меньшей степени второму приплодам, переходящим к самостоятельному образу жизни в мае и июле соответственно.



**Численность (экз./м<sup>2</sup>) представителей отдельных видов Gammaridea на исследованных участках в 2006–2007 гг.**

Участок	Горизонт	<i>G. setosus</i>			<i>G. oceanicus</i>		<i>G. duebeni</i>	<i>G. zaddachi</i>		
		2006	2007 июнь	2007 сентябрь	2006	2007 июнь	2006	2006	2007 июнь	2007 сентябрь
1	ВГЛ	7 (75)	–	–	3 (66)	–	9 (80)	9 (80)	–	–
	СГЛ	9 (38)	6 (100)	247 (66)	1 (100)	0	1 (100)	6 (66)	14 (35)	0
	НГЛ	6 (86)	0	73 (36)	0	0	0	0	40 (40)	0
2	ВГЛ	6 (43)	–	–	0	–	2 (52)	4 (53)	–	–
	СГЛ	13 (32)	43 (44)	1707 (47)	2 (47)	0	0	9 (43)	86 (41)	0
	НГЛ	1 (100)	29 (57)	3240 (23)	0	26 (65)	0	7 (49)	100 (31)	0
3	ВГЛ	17 (40)	565 (30)	0	3 (100)	0	0	11 (52)	0	1040 (46)
	СГЛ	25 (37)	586 (23)	0	23 (25)	0	16 (35)	18 (42)	0	1334 (62)
	НГЛ	29 (25)	260 (21)	0	9 (47)	0	0	37 (34)	0	20 (100)

*Примечание:* ВГЛ – верхний горизонт литорали; СГЛ – средний горизонт литорали; НГЛ – нижний горизонт литорали; в скобках указана относительная ошибка учета бокоплавов (в %); 0 – означает отсутствие в пробах представителей данного вида; прочерк означает что пробы не брались.

### Выводы

1. На литорали Керетского архипелага обнаружено четыре обычных для осушной зоны Белого моря вида бокоплавов: *Gammarus setosus*, *G. zaddachi*, *G. oceanicus* и *G. duebeni*.

2. Практически во всех местообитаниях бокоплавов заметно уступали по показателям обилия представителям других групп животных. Их значимость в создании суммарной биомассы сообществ на всех участках не превышает 4%. Только на участке, расположенном на открытом побережье илисто-песчаной с камнями литорали, бокоплавов отдельные сезоны наблюдения доминировали по численности, составляя свыше 30% суммарной численности макрозообентоса. В остальных местообитаниях их доля практически не превышала 8–10 % общей численности донных сообществ.

3. Характер летней организации поселений массовых видов бокоплавов позволяет предположить, что продолжительность жизненного цикла этих животных в условиях литоральной зоны Белого моря не превышает двух лет.

### Литература

- Азаров В.В. 1963. Питание рыб на литорали острова Ряжкова и Лодейного в Белом море (Кандалакшский залив). // Тр. Кандалакш. гос. заповедника. Вып. 4. С. 35–53
- Бек Т.А. 1977. Биология литоральных гаммарусов *Gammarus (Lagunogammarus) oceanicus* Segerstrale, *Gammarus (Rivulogammarus) duebeni* Lilj. и *Marinogammarus obtusatus* Dahl Белого моря. Автореф. дис. канд. биол. наук. М.: 20 с.
- Бек Т.А. 1980. Размножение бокоплавов родов *Gammarus* и *Marinogammarus* на литорали Белого моря. / Тр. Беломор. биол. Станции. МГУ. Т. 5. С. 103–114.
- Брызгин В.Ф. 1982. К фауне Amphipoda Белого моря. / Повышение продуктивности и рациональное использование биологических ресурсов Белого моря. Л., С. 10–32.
- Брызгин В.Ф., Мартыненко С.Н., Сапожников А.В. 1982. Эффективность применения гаммарид при откорме молоди семги. / Повышение продуктивности и рациональное использование биологических ресурсов Белого моря. Л., С. 141.
- Булычева А.И. 1957. Фауна Amphipoda Белого моря. / Матер. по компл. изуч. Белого моря. № 1. С. 391–410.
- Виноградов М.Е. 1950. Характер пищевых связей некоторых видов птиц с литоралью Белого моря. // Тр. ВГБО. – Т. 2. С. 103 – 108.
- Голиков А.Н., Максимович Н.В., Сиренко Б.И. 1988. Особенности распределения, роста и продукции *Mytilus edulis* L. в различных биотопах на примере поселений у Сонострова – Гидробиологические особенности юго-восточной части Кандалакшского залива в связи с марикультурой мидий на Белом море. // Исследов. фауны морей. Т. 39 № 47. С. 97–108.

- Голиков А.Н., Аверинцев В.Г. 1977. Биоценозы верхних отделов шельфа архипелага Земля Франца-Иосифа и некоторые закономерности их распределения. / Исслед. фауны морей СССР. Л.: Т. 14, № 22. С. 5–54.
- Гурьянова Е.Ф. 1951. Бокоплавы морей СССР и сопредельных вод. Л. 1030 с.
- Дорош Е.П. 1963. Запасы кормовых беспозвоночных для птиц и рыб на литорали островов Кандалакшского залива Белого моря. // Тр. Беломорск. Биол. ст. МГУ. Т. 2. С. 54–68.
- Луппова Е.Н. 2003. Особенности экологии литоральных бокоплавов *Lagunogammarus oceanicus* (Segestrale, 1974) и *Gammarus duebeni duebeni* (Liljeborg, 1985) в Баренцевом и Белом морях. / Фауна беспозвоночных Карского, Баренцева и Белого морей. Апатиты. С. 240–326.
- Мартыненко С.Н. 1979. Предварительные результаты выращивания молоди семги с применением животных кормов. // Биология и индивидуальное развитие некоторых возможных объектов марикультуры в морях Европейского Севера. Апатиты: изд. КФ АН СССР. С. 78 – 81.
- Перцов Н.А. 1952. Массовые беспозвоночные литорали Белого моря как компонент питания рыб и питания птиц и методика определения их средних размеров и весов. // Тр.ВГБО. Т. 4. С. 305–324.
- Цветкова Н.Л. 1985. Фауна, экология сезонная динамика численности и роль в биоценозах бокоплавов (Amphipoda, Gammaridea) губы Чула (Белое море). // Исследования фауны морей. Т. 31. № 39. С. 120–160.
- Цветкова. Н.Л. 1975. Роды *Gammarus*, *Anisogammarus*, *Marinogammarus*, *Mesogammarus* (Amphipoda, Gammaridea). / Прибрежные гаммариды северных и дальневосточных морей СССР и сопредельных вод. 256 с.
- Шестопал И.А., Кузнецов Т.М., Лысенко. Л.Ф. 1981. О питании семги в море. // Материалы семинара по проблемам «Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера». Петрозаводск. С. 185 – 188.
- Buschkiel A. L. 1931. Slsmonidenzucht in Mitteleurpa. // Handbuch der Binnenfish Mitteleurpa. V. 4(2). P. 161 – 348.

## ВЛИЯНИЕ ОСВОЕНИЯ БОКСИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА РЫБНОЕ НАСЕЛЕНИЕ ВОДОТОКОВ ТИМАНА

А.Б. Захаров <sup>1</sup>, Э.И. Бознак <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар,  
e-mail: zaharov@ib.komisc.ru

<sup>2</sup>Сыктывкарский государственный университет, Сыктывкар  
e-mail: boznak06@rambler.ru

Разработка бокситовых месторождений Среднего Тимана и увеличение добычи бокситовой руды неизбежно приводит к усилению антропогенной нагрузки на природную среду и вовлечение в сферу влияния добывающих предприятий новых, ранее незатронутых территорий. При этом в зону влияния добывающих предприятий попадают и водотоки, расположенные в данном районе. Воздействие на водные объекты связано не только с техногенным нарушением самих водотоков и их водосборов. В результате строительства транспортных коммуникаций многие водоемы становятся относительно легко доступными для населения. Отсутствие действенной системы регулирования рыболовства и практически полное отсутствие контроля над выловом рыбы приводит к резкому возрастанию промысловой нагрузки на рыбное население водоемов.

Начиная с 1994 г. (с некоторыми перерывами) в рамках комплексного мониторинга за состоянием гидробиоценозов водотоков, входящих в зону влияния Среднетиманского бокситового рудника, в верхнем течении р. Вымь проводится цикл исследований, посвященных оценке состояния промысловой части рыбного населения этого района.

В зону влияния Среднетиманского бокситового рудника попадают верховья крупнейшего правого притока р. Вычегды – р. Вымь, и система малых водотоков, входящих в ее бассейн. Несмотря на длительное промышленное освоение лесов на водосборе р. Вымь, проводившееся во второй половине 20-го века, и современную разработку бокситового месторождения, состояние подавляющего большинства водотоков остается близким к естественному. Серьезные нарушения среды обитания гидробионтов отмечены лишь на локальных участках акваторий, непосредственно примыкающих к транспортным коммуникациям или объектам бокситового рудника. Все основные показатели отражают довольно стабильное и благополучное состояние исследованных водотоков (Захаров, Черезова, 2008).

Река Вымь является водоемом высшей категории рыбохозяйственного использования. Состав рыбного населения верхней части этого водотока определяется лососевидными рыбами, среди которых доминирует европейский хариус, заметную роль играет жилая форма сига-пыжьяна, в уловах регулярно отме-

чается атлантический лосось. Группировка атлантического лосося, размножающаяся в верхнем течении р. Вымь, на сегодняшний день является крупнейшей для всего вычегодского бассейна. Щука распространена повсеместно, однако ее численность лимитируется ограниченным количеством участков, пригодных для ее обитания. Среди карповых рыб и по распространению и по роли в ихтиоценозе здесь преобладает обыкновенный гольян, составляющий в уловах мальковым неводом более 90% от числа всех пойманных рыб. Заметно меньшую роль играет усатый голец. Елец, широко распространенный в среднем и нижнем течении реки, в принципе не характерен для относительно мелководных, быстротекущих участков верхнего течения р. Вымь. Впервые в верховьях р. Вымь этот вид рыб отмечен сетных уловах летом 2006 г., однако в последующие годы он обнаружен не был. Столь же нерегулярно в уловах присутствует и окунь, предпочитающий участки реки с замедленным течением и развитой высшей водной растительностью. Доля налима в контрольных уловах обычно не превышает 2%. Обыкновенный подкаменщик регулярно отмечается в питании хищных рыб.

Соотношение разных видов рыб в контрольных уловах не остается постоянным. Так, доля в сетных уловах хариуса, являющегося доминантом, варьировала от 55% до 79%; сига – от 8% до 19%, щука и налим составляли в среднем порядка 7% от общей численности рыб (рис.1).

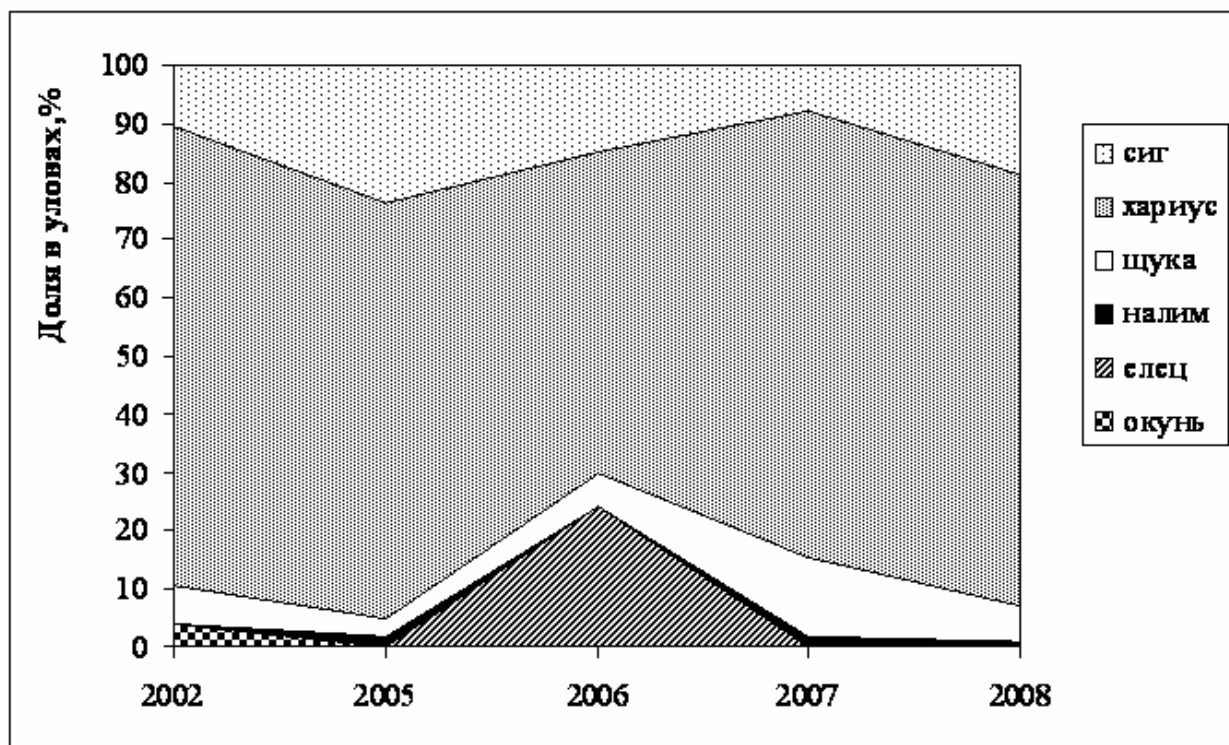


Рис. 1. Соотношение разных видов рыб в контрольных сетных уловах из верхнего течения р. Вымь

Без четко выраженной закономерности изменяются и значения индексов Шеннона ( $H'$ ), описывающих разнообразие уловов. Невысокие величины этих показателей отражают наличие в сообществе четко выраженного доминанта (европейский хариус), а их стабильность, по крайней мере, на протяжении последних лет свидетельствует об отсутствии серьезных перестроек в структуре рыбного населения верхнего течения р. Вымь (рис. 2). В этом смысле верховья р. Вымь до настоящего времени сохраняют свою роль потенциального генетического резервата лососеобразных рыб.

Тем не менее, анализ данных, характеризующих состояние популяции основных промысловых видов рыб и их относительную численность, свидетельствует о происходящих серьезных негативных изменениях. На протяжении последних лет наблюдается тенденция к снижению, как общей численности рыб, так и численности сига и хариуса, составляющих основу контрольных уловов (рис. 3).

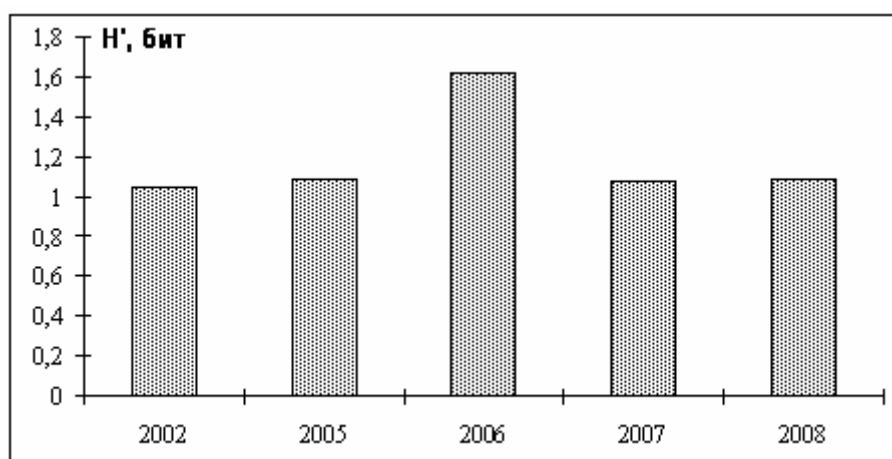


Рис.2. Разнообразие промысловых рыб в уловах из верхнего течения р. Вымь

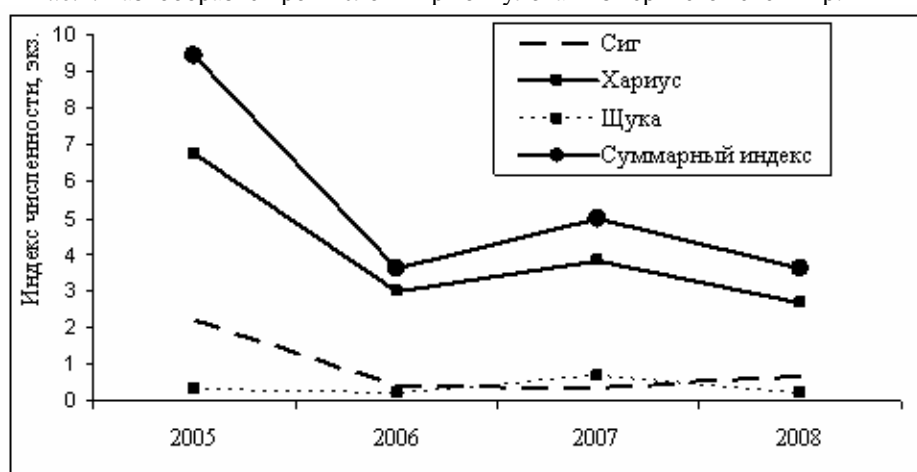


Рис. 3. Относительная численность (экз./30 м. сети в сутки) основных промысловых рыб верхнего течения р. Вымь по данным контрольных уловов

На этом фоне наблюдается устойчивое снижение как размерно-весовых характеристик рыб, вошедших в состав контрольных уловов, так и падение среднего возраста рыб в выборках, вызванного омоложением возрастного состава уловов (рис. 4). Такого рода изменения, особенно если учесть благополучное состояние кормовой базы и сохранение высокой скорости роста и хорошей упитанности рыб, свидетельствует о выраженной промысловой нагрузке. На сегодняшний день интенсивность несанкционированного лова явно превышает воспроизводительные способности популяций сига и хариуса данного водотока. Очевидно, что хариус, доминирующий в верховьях р. Вымь, испытывает заметно более сильное воздействие, тогда как показатели, характеризующие уловы сига в последнее время несколько стабилизировались. Вылов хариуса не ограничивается по времени лишь весенне-летним сезоном, заметное его количество добывается и в зимний период.

На сегодняшний день водотоки верхнего течения р. Вымь испытывают на себе не столько техногенное воздействие, сколько, оказавшись относительно доступными, подвергаются серьезно-му промысловому прессу. Практически неконтролируемый вылов уже привел к негативным изменениям популяционных характеристик сига и хариуса. Сохранение этих тенденций уже в ближайшее время может привести к обвальному снижению численности основных промысловых видов рыб и к резким перестройкам структуры рыбного населения данного водотока. Опасение вызывает скорость, с которой происходят эти события. Так в верховьях р. Ворыква (приток верхнего течения р. Вымь) в 1990-х гг. европейский хариус формировал многочисленную группировку со сложной возрастной структурой (максимальный возраст 10+), то в 2006 г. значение суммарного индекса численности рыб в этом водотоке практически в 3.7 раза ниже, чем в русле верхнего течения р. Вымь, а в период исследования 2007–2008 гг. в р. Ворыква (в районе устья р. Черный) было поймано лишь 5 (!) экземпляров хариуса трех-пятилетнего возраста.

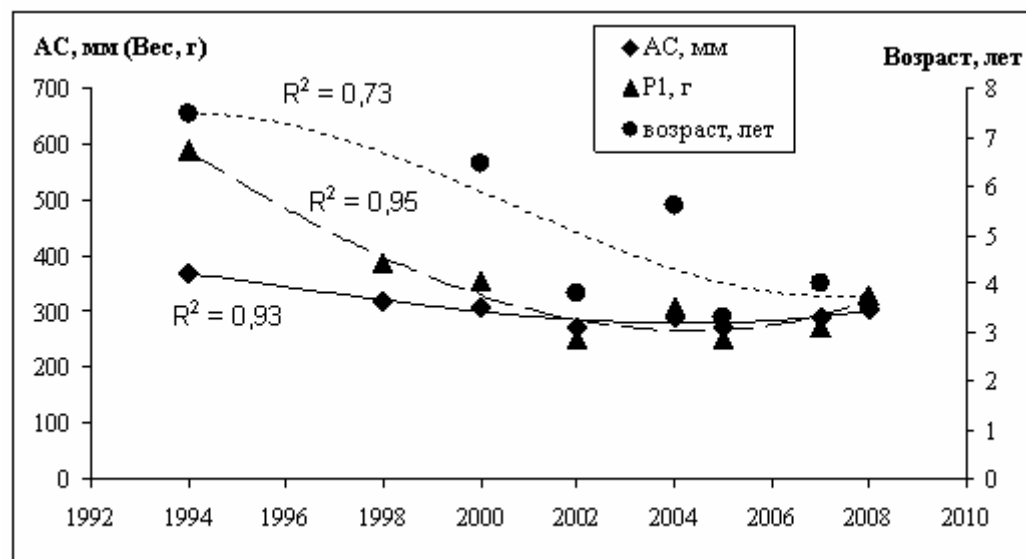
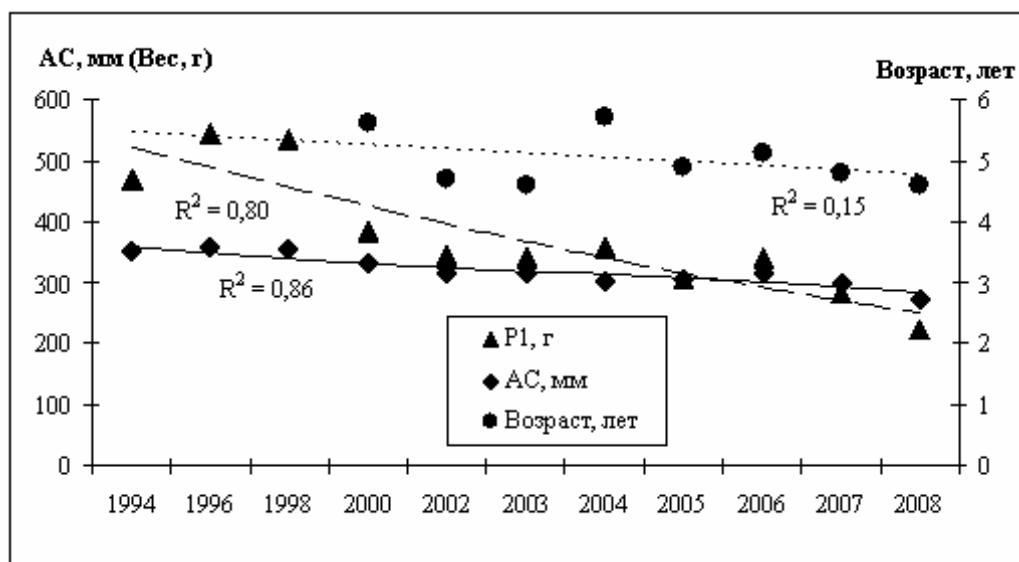


Рис. 4. Изменение некоторых популяционных показателей хариуса и сига верхнего течения р. Вымь по данным разных лет наблюдения.

Таким образом, долговременный мониторинг рыбного населения р. Вымь в районах добычи и транспортировки бокситов демонстрирует устойчивую тенденцию снижения численности группировок основных промысловых рыб. В последние годы наблюдений отмечено снижение линейно-весовых показателей и среднего возраста рыб в выборках. В контрольных уловах отсутствуют особи предельного старшего возраста. Вызванные изменения не связаны с ухудшением состояния среды обитания и обусловлены иррациональным нелегальным промыслом.

В сложившейся ситуации сохранение рыбного населения водотоков Центрального Тимана, перспективного района разработки рудных минеральных ресурсов (бокситы, титан, золото и др.), возможно лишь комплексными мерами. Помимо охраны рыбных запасов, важнейшей составляющей такого рода деятельности является организация искусственного воспроизводства основных промысловых видов рыб (сига и хариуса). Положительные результаты лицензирования спортивного и любительского лова рыбы на отведенных участках среднего течения р. Вымь и первые опыты по выпуску мальков европейского хариуса, осуществляемые рыбоводной компанией «Биоресурс», демонстрируют действенность таких мероприятий.

### Литература

Захаров А.Б., Черезова М.И., 2008. Ихтиофауна малых водотоков в районе разработки бокситовых месторождений Тимана // Разнообразие и пространственно-экологическая организация животного населения европейского Северо-Востока. Сыктывкар. С.54–80. (Тр. Коми НЦ УрО РАН, №184).

## INFLUENCE OF BAUXITE DEPOSITS DEVELOPING UPON THE TIMAN RIVER FISH POPULATION

**A.B. Zakharov <sup>1</sup>, E.I. Boznak <sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Institute of Biology Komi Scientific Division of UB RAS, Syktyvkar, Russia

<sup>2</sup>Syktyvkar State University, Syktyvkar

The investigation of fish population of the upstream of Vym' river has been carried out since 1994. Impact zone of «Srednetimanskij» bauxite mine includes upstream of the Vym' river and its tributaries system. Condition of great part of streams on this territory is close to natural, obvious disturbance may be registered only on zones contacting with transport communications or mine objects. In fish part of community the grayling and whitefish dominate (in total 70% – 93% of control catches). The Shennon's diversity index varies from 1.05 to 1.09 (1.62 in 2006) without clear regularity that may indicate the stability of the fish part of community in up reaches of the Vym'. But the number, average age, body length and weight of the fishes are regularly decreasing. The main cause of this negative changing is illegal uncontrolled fishery. Course of this tendency may be a result of degradation of Salmonids populations. In this situation preservation of the fish population is possible only in complex. Besides of protection of the fish resources the main component of these activities is organization of the grayling and whitefish population reproduction.

## НЕРЕСТОВО-ВЫРОСТНОЙ ФОНД И СОСТОЯНИЕ ВОСПРОИЗВОДСТВА ЛОСОСЯ (SALMO SALAR) В МАЛЫХ РЕКАХ КУТОВОЙ ЧАСТИ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА

**А.В. Зубченко, И.В. Самохвалов, Д.О. Кузьмин**

Подарный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства  
и океанографии им. Н.М.Книповича (ПИНРО), Мурманск, Россия

e-mail: zav@pinro.ru

В кутовую часть Кандалакшского залива в пределах Мурманской области впадает 4 реки – Колвица, Лувеньга, Канда, Ковда, для которых известно, что в них воспроизводится лосось. Из указанных рек, достаточно хорошо изучены р. Колвица (Азбелев, 1960) и р. Лувеньга (Лоенко, 1985; Черницкий, Лоенко, 1990), хотя на основании материалов, представленных в этих работах, судить о современном состоянии воспроизводства лосося по прошествии почти 50 и 20 лет соответственно уже нельзя. Тем более, что численность популяций лосося из этих рек в 70–80-е годы XX в. интенсивно поддерживалась за счет заводского воспроизводства, в частности в р. Лувеньга (Лоенко, 1985; Черницкий, Лоенко, 1990). По двум другим рекам никаких данных о биологии лосося и среде его обитания нет. Вполне вероятно, что отсутствие современных данных о состоянии стад лосося из этих рек является основной причиной того, что они посещаются организованными рыбаками лишь эпизодически. В то же время рр. Колвица, Лувеньга, Канда, Ковда расположены вблизи г. Кандалакши и ряда других населенных пунктов, в районе с хорошо развитой сетью дорог, устойчивыми рыболовными традициями населения. Достаточно сослаться на И.Ф.Ушакова (1972), который писал: «По описи 1782 года, в Кандалакше насчитывалось 58 домов, в которых проживало 142 человека мужского и 155 человек женского пола, составлявших 63 крестьянских «двора» (отдельных тяглых семьи). Семужьим промыслом занимались жители 23 дворов (добывалось около 800 пудов семги в год)». С учетом этого оценка репродуктивного потенциала и состояния воспроизводства лосося в рр. Колвица, Лувеньга, Канда, Ковда с целью оптимального использования его запасов для рекреационного рыболовства, прежде всего для местных жителей, представляется, несомненно, актуальным.

Материалы для настоящей работы были собраны на рр. Колвица, Лувеньга, Канда, Ковда в октябре 2008 г. В ходе исследований была сделана предварительная количественная оценка нерестово-выростных угодий (НВУ) и их состояния. Выполнены съемки плотности молоди лосося. Для оценки площади нерестово-выростных угодий использованы данные маршрутной съемки (Кузьмин, 1974, 1985; Обзор методов оценки..., 2000), а также материалы, полученные на основе применения правила уклонов (Starmach, 1956; Мартынов, 1983). Фракционный состав грунта определялся по методике М.В. Кленовой (1931). Плотности молоди лосося на НВУ изучались с помощью электроловильного аппарата. Площадь облавливаемых участков колебалась от 25 до 100 м. Облов одного участка проводился не менее трех раз. Расчеты плотности выполнены по методу удаления (Zirpin, 1958). Ихтиологические материалы обработаны по общепринятым методикам (Правдин, 1966; Мартынов, 1987).

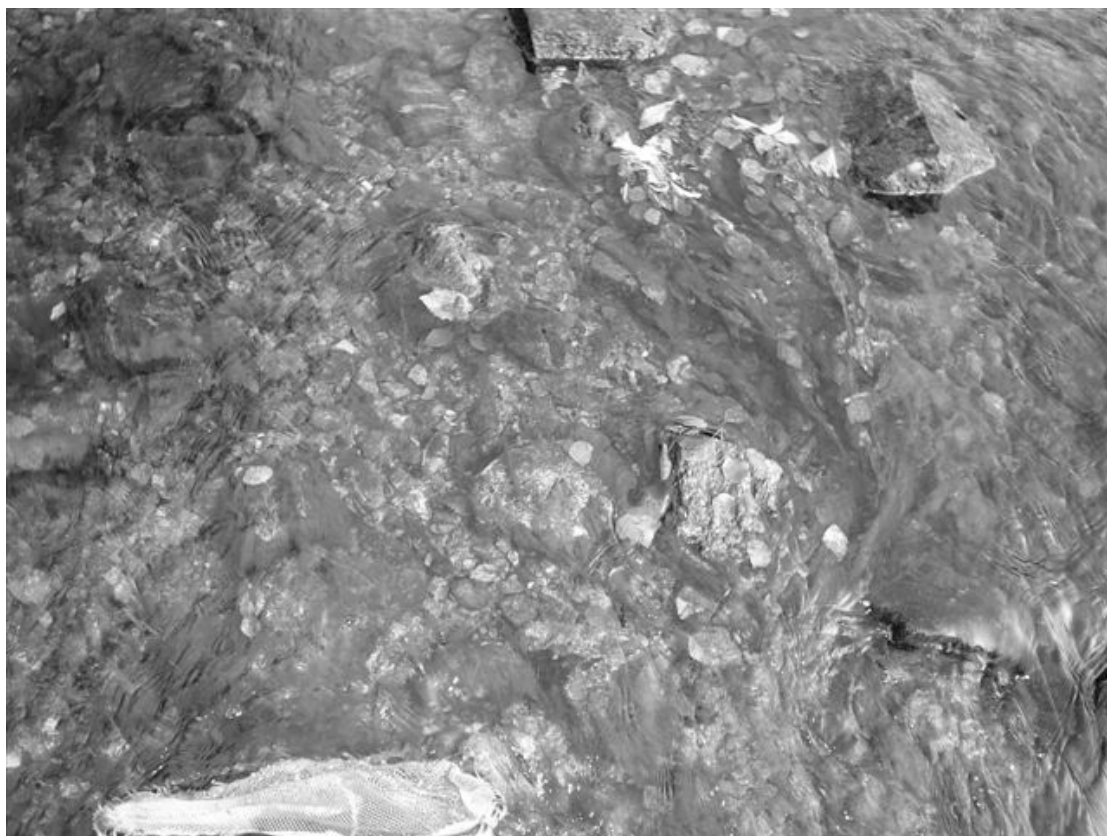
В результате проведенных исследований выявлено, что в р. Колвица площадь НВУ составляет около 15,7 га. Наиболее качественные НВУ расположены в среднем и нижнем течении реки (рис. 1). Ширина реки на этих участках колеблется от 15 до 70 м. Скорость течения – от 0,3 до 1,2 м/с. Грунт представлен валунами и галькой всех фракций с вкраплениями гравия (рис. 2), часто встречаются глыбы. Нерестовые участки расположены мозаично. Их площадь по предварительным данным составляет около 3,5 га. Имеются два водопада высотой 2,1 и 5,8 м, проходимые для лосося. Ранее река использовалась для лесосплава, поэтому на отдельных участках встречаются остатки древесины (рис. 3) и направляющих кряжей.

В р. Лувеньга площадь НВУ равна примерно 14 га. Наиболее качественные НВУ расположены в среднем течении реки (рис. 4). Ширина реки на этих участках колеблется от 15 до 20 м. Скорость течения – от 0,3 до 1,0 м/с. Грунт на НВУ состоит из валунов и гальки всех фракций, гравия, встречаются глыбы и осколки скал. Нерестовые участки расположены мозаично. Их площадь по предварительным данным составляет около 2,7 га. Река не имеет естественных преград и везде проходима для лосося.



Рис. 1. НВУ в среднем течении р. Колвица





*Рис. 2. Состав грунта на НВУ р. Колвица*



*Рис. 3. Последствия лесосплава на р. Колвица*





*Рис. 4. НБУ в среднем течении р. Лувеньга*



*Рис. 5. НБУ в среднем течении р. Канда*

В бассейне р. Канда по предварительным данным площадь НВУ составляет около 21,3 га. Наиболее качественные НВУ расположены в среднем и нижнем течении реки (рис. 5), а также в среднем и нижнем течении притока р. Рябина. Ширина рек на этих участках колеблется от 15 до 60 м. Скорость течения – от 0,3 до 1,2 м/с. Грунт представлен валунами, галькой всех фракций с вкраплениями гравия, часто встречаются глыбы и осколки скал. Нерестовые участки расположены мозаично. Их площадь по предварительным данным составляет около 5,2 га.

В р. Ковда в результате строительства ГЭС (в 1955 году), для воспроизводства сохранился небольшой участок, расположенный в 0,5 км от устья (рис. 6). Его площадь равна примерно 0,5 га. Ширина реки на этом участке составляет около 25 м. Скорость течения в среднем – 0,45 м/с. В составе грунта преобладают валуны всех фракций и глыбы. Нерестовые участки расположены мозаично и на них грунт состоит из среднего и мелкого валуна, с примесью гальки и гравия. Ранее река использовалась для лесосплава, поэтому в низовьях встречаются остатки затопленной древесины.

Изучение плотности молоди лосося на НВУ рр. Колвица, Лувеньга, Канда, Ковда (рис. 7) показало, что наибольшие плотности молоди лосося наблюдаются в рр. Лувеньга (49,2 экз./м<sup>2</sup>) и Ковда (48,0 экз./м<sup>2</sup>). В р. Колвица эти показатели в два с лишним раза ниже (20,8 экз./м<sup>2</sup>), а в р. Канда составляют менее 10 экз./м<sup>2</sup>.

По сведениям В.В.Азбелева (1960) в 1945–1950 гг. численность лосося в р. Колвица составляла от 425 до 1300 экз. (в среднем 765 экз.). За период с 1965 по 1983 гг. по данным ФГУ «Мурманрыбвод», учетная численность лососей в этой реке колебалась от 62 до 1540 экз. (в среднем 720 экз.). В р. Лувеньга в 1962–1991 гг. по данным учета заходило на нерест от 40 до 1960 лососей (в среднем 700 экз.) (рис. 8). В 1995 и 1997 гг. в р. Колвица было учтено 73 и 67 экз. производителей лосося, однако учет не охватывал весь период нерестовой миграции, поэтому определить действительную численность стада в этот период не представляется возможным.



Рис. 6. НВУ в нижнем течении р. Ковда



Рис. 7. Плотность молоди лосося в рр. Колвица, Лувеньга, Канда, Ковда

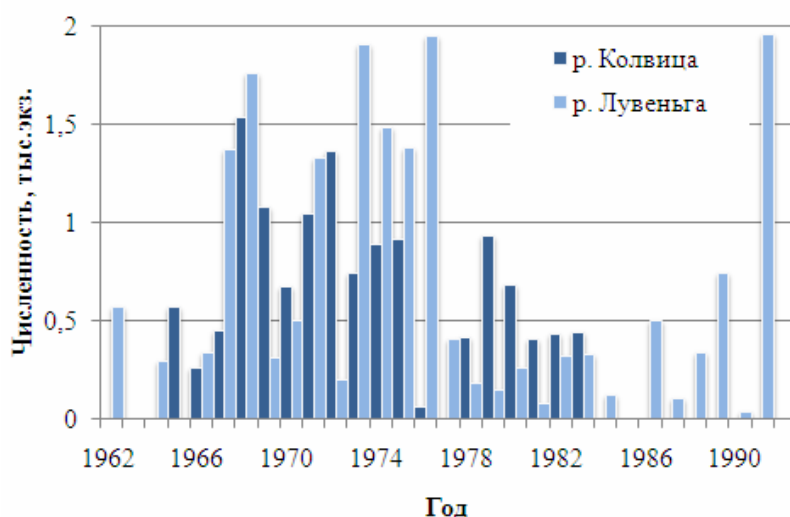


Рис. 8. Численность лосося в рр. Колвица и Лувеньга с учетом доли лосося из этих рек в уловах на морских тонях Кандалакшского района

Потенциальная численность смолтов лосося в рр. Колвица и Лувеньга составляет 19,1 и 17,0 тыс. экз., а потенциальная численность производителей 1,5 и 1,4 тыс. экз. соответственно (Репродуктивный потенциал атлантического лосося, воспроизводящегося..., 2007). При этом сравнение учтенных и расчетных данных показывает, что максимальная учтенная численность нерестовых мигрантов в той и другой реке достаточно близка к потенциальной. Аппроксимация этих данных на две другие реки (в расчетах за основу принята площадь НВУ) показывает, что потенциальная численность смолтов и производителей в р. Канда составляет около 26,0 и 2,0 тыс. экз. соответственно, а в р. Ковда – около 600 смолтов и около 50 производителей. Исходя из этих же предпосылок реальная численность производителей в 1960-е – 1980-е годы составляла в среднем: в р. Канда – около 900–950 экз., в р. Ковда – 20–30 экз.

Численность лосося в рр. Колвица, Лувеньга, Канда, Ковда формируется не только за счет естественного воспроизводства. С начала 1960-тых и до начала 1990-тых годов в эти реки, в губу Княжую, куда впадает р. Ковда, и в устье р. Нива, зарегулированной каскадом ГЭС, ежегодно выпускалась молодь лосося, выращиваемая на Кандалакшском (сдан в эксплуатацию в 1960 г.) и Князегубском (вступил в строй в 1962 г.) рыбоводных заводах. Правда количество заводских производителей, заходящих в эти реки было, по-видимому, не велико, так как при выпуске заводской молоди в

р. Лувеньга в 1968–1972 гг., 1975–1977 гг. и 1979–1985 гг. коэффициент возврата колебался от 0,02 до 0,1 % (Лоенко, 1985; Бакштанский и др., 1980; Черницкий, Лоенко, 1990).

Выпуск пестряток, выращиваемых на Княжегубском рыбоводном заводе, в рр. Ковда и Канда, прекращен начиная с 1994 г. До 2002 г. заводскую молодь продолжали выпускать (в среднем около 200 тыс.экз.) в губу Княжая и в р. Нива. В настоящее время Княжегубский рыбоводный завод выращивает молодь для выпуска в р. Умба, а Кандалакшский – для выпуска в р. Кола, и заводская молодь лишь эпизодически и в небольших количествах выпускается в рр. Колвица и Нива.

Современное состояние воспроизводства в рр. Колвица, Лувеньга, Канда, Ковда во многом зависит от степени эксплуатации запасов, которая, судя по достаточно низким для беломорских рек показателям плотности молоди (рис. 7), весьма значительна, в первую очередь за счет ее нелегальной составляющей. За пять лет с 2003 по 2007 гг. суммарный легальный вылов лосося в р. Колвица (реализовано 5589 разрешений) составил 32 экз., или 0,006 экз./день на единицу усилия. Эти показатели можно сопоставить разве, что с таковыми по р. Умба, где вылов на единицу усилия за тот же период составляет 0,07 экз./день, и по данным М.Ю.Алексеева и др. (2006) незаконный вылов составляет 70% от численности нерестового стада.

Анализ имеющихся данных показывает, что в 1960-тые – 1990-тые годы в условиях интенсивной эксплуатации запасов лосося из беломорских рек отечественным (в реках и в прибрежных районах) и иностранным (в районах нагула и на путях миграции) промыслом, заводское воспроизводство играло значительную роль в поддержании численности лосося в изучавшихся реках. Во многом благодаря этому в рр. Колвица и Лувеньга среднее количество нерестовых мигрантов в этот период составляло около 700 экз. Поэтому сокращение рыбоводных работ в бассейне Кандалакшского залива явно не оправдано. На это указывают и данные за последние годы. Например, в р. Колвица, где в 2006 г. осуществлялись работы по искусственному воспроизводству, плотности молоди лосося на отдельных участках составляли более 70 экз./100 м<sup>2</sup> (рис. 9) (Изучить особенности биологии атлантического лосося ..., 2006). Низкие плотности дикой молоди, в изучавшихся реках, указывают на недостаток производителей на нерестилищах, и являются следствием чрезмерной эксплуатации запасов, в которой, как уже говорилось выше, доминирует нелегальная составляющая. Данные по плотности молоди говорят также о том, что современная численность нерестовых стад лосося в рр. Колвица и Канда находится на уровне 15–20% от потенциальной, т.е. запасы лосося в этих реках испытывают глубокую депрессию. Несколько лучше ситуация в р. Лувеньга, но при существующей интенсивности нелегального лова в этом регионе, она за короткое время может измениться в худшую сторону.

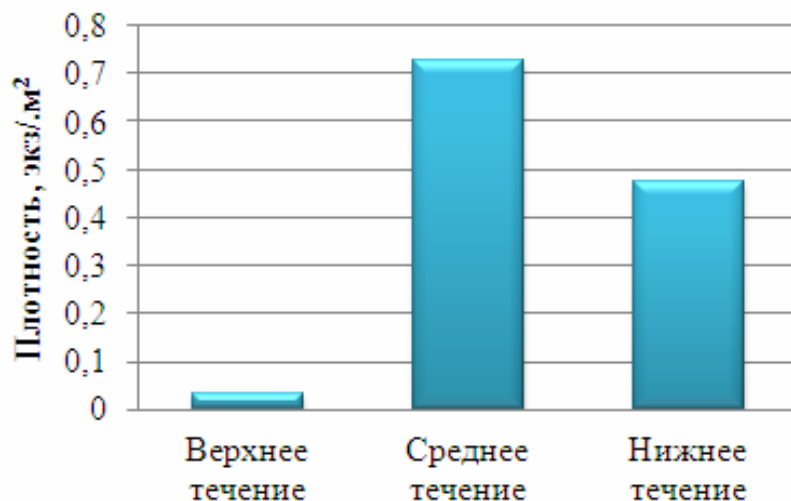


Рис. 9. Плотности молоди лосося на различных участках р. Колвица в 2006 г. (Изучить особенности биологии атлантического лосося ..., 2006)

В то же время изучавшиеся реки, в случае восстановления в них численности лосося до оптимального уровня, представляют несомненный интерес для развития рекреационного рыболовства.

По предварительным данным суммарный фонд НВУ рр. Колвица, Лувеньга, Канда, Ковда составляет 51,5 га, а суммарная потенциальная численность производителей около 4,9 тыс.экз. По

этим показателям эти реки сравнимы с реками Восточного Мурмана – Варзина, Сидоровка, Дроздовка, где программа рекреационного рыболовства успешно осуществляется с 1993 г. и ежегодный вылов лососей рыбаками-любителями составляет 1000 и более экземпляров.

Как показывает опыт, в частности ситуация на р. Кола (Зубченко и др., 2003), в столь густонаселенном районе охранные меры малоэффективны, а с помощью правильно организованных рыболовных работ можно в короткие сроки восстановить численность лосося и поддерживать ее на оптимальном уровне. При этом даже возможности р. Ковда, несмотря на незначительный ресурс естественного воспроизводства, в плане организации рекреационного рыболовства выглядят вполне перспективно за счет пастбищного лосося.

Возникает, правда, проблема, связанная с вселением в изучавшиеся реки «чужой» молоди лосося (Выпуск молоди семги..., 2002), т.к. маточными водоемами для Кандалакшского и Княжегубского рыболовных заводов являются рр. Кола и Умба. Но, во-первых, чужеродная молодь вселяется в рр. Колвица, Лувеньга, Канда, Ковда с 1960-тых годов и говорить о сохранении в популяциях лосося исходных генофондов, по-видимому, излишне. Во-вторых, в случае непринятия мер велика вероятность полного исчезновения популяций лосося в этих реках, и тогда в любом случае для их воссоздания будет необходимо заселять чужеродную молодь. А, в-третьих, по нашим сведениям, попыток по заготовке производителей в рассматриваемых реках, не было. Очевидно, из-за проблем организационного характера было проще использовать уже налаженные схемы заготовки половых продуктов в рр. Кола и Умба.

### Литература

- Азбелев В.В., 1960. Материалы по биологии семги Кольского полуострова и ее выживаемости // Тр./ПИНРО. Вып. 12. С. 5–70.
- Алексеев М.Ю., Зубченко А.В., Криксунов Е.А., 2006. Применение имитационного математического моделирования для оценки величины нелегального вылова семги (*Salmo salar*) в реке Умба // Вопросы рыболовства. Т. 7, № 2(26). С. 318–325.
- Бакштанский Э.Л., Нестеров В.Д., Неклюдов М.Н., 1980. Поведение молоди атлантического лосося *Salmo salar* L. в период ската // Вопр. ихтиологии. Т. 20. Вып. 4. С. 694–701.
- Выпуск молоди семги в «чужие» реки и эффективность работы рыболовных заводов/Артамонова В.С., Махров А.А., Крылова С.С. и др. // Вопросы рыболовства, 2002. Т. 3, № 3(11). С. 463–473.
- Зубченко А.В., Долотов С.И., Крылова С.С., Лазарева Л.В., 2003. Лососевые реки Кольского полуострова. Река Кола. Мурманск: Изд-во ПИНРО. 66 с.
- Изучить особенности биологии атлантического лосося в морской и пресноводный периоды жизненного цикла. Отчет о НИР (промежуточ.) / ПИНРО ; рук., отв. исполн. А. В. Зубченко. Мурманск, 2006. № 6780. 211 с.
- Кленова М. В., 1931. Отчет о работе комиссии по механическому составу грунтов при Государственном океанографическом институте // Бюллетень Гос. океанографич. Института. Вып 1. 8 с.
- Кузьмин О.Г., 1974. Значение малых рек Терского побережья в естественном воспроизводстве семги *Salmo salar* L. // Девятая сессия ученого совета по проблеме: «Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера», посвященная 250-летию АН СССР (28 – 31 октября 1974 г.). Тезисы докладов. Петрозаводск. С. 115–117.
- Кузьмин О. Г., 1985. К биологии семги малых лососевых рек восточного Мурмана // Экология и воспроизводство проходных лососевых рыб в бассейнах белого и Баренцева морей. Мурманск: ПИНРО. С. 25–27.
- Лоечко А.А., 1985. К вопросу об эффективности работы Кандалакшского рыболовного завода // Экология и воспроизводство проходных лососевых рыб в бассейнах Белого и Баренцева морей. Мурманск: ПИНРО. С. 101–110.
- Мартынов В. Г., 1983. Семга уральских притоков Печоры: Экология, морфология, воспроизводство. Л.: Наука. 127 с.
- Обзор методов оценки продукции лососевых рек/Антонова В.П., Чуксина Н.А., Студенов И.И. и др.; Под общ.ред И.И.Студенова. Архангелск, 2000. 47 с.
- Правдин И.Ф., 1966. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). 4-е изд. М.: Пищ. пром-сть. 376 с.
- Репродуктивный потенциал атлантического лосося, воспроизводящегося в реках Кольского полуострова / А. В. Зубченко, А. Е. Веселов, С. М. Калужин и др. // Сборник научных трудов ГосНИОРХ. СПб.; М. : КМК, 2007. Вып. 337. С. 375–385.
- Ушаков И.Ф., 1972. Кольская земля//Мурманское книжное изд-во, 1972. – 672 с.
- Черницкий А.Г., Лоечко А.А., 1990. Биология заводской молоди семги после выпуска в реку. Апатиты. 120 с.
- Starmach K., 1965. Rybaka i biologiczna charakterystyka rzek // Pol. Arch. Hydrobiol. T. 3 (16). S. 307–332.
- Zippin C., 1958. The removal method of population estimation // J.of Wildlife Management. V. 22, N. 1. P. 82–90.

## О ПРОЯВЛЕНИИ КОМПЕНСАЦИОННОГО РОСТА У МОЛОДИ ЩУКИ *ESOX LUCIUS*

М.Н. Иванова, А.Н. Свирская

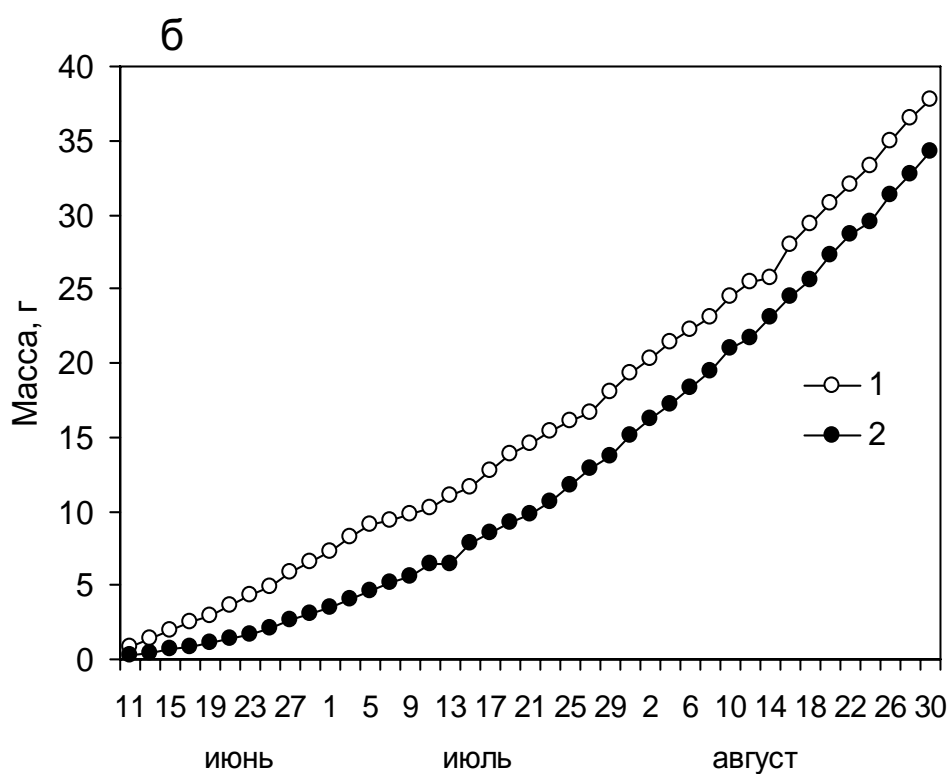
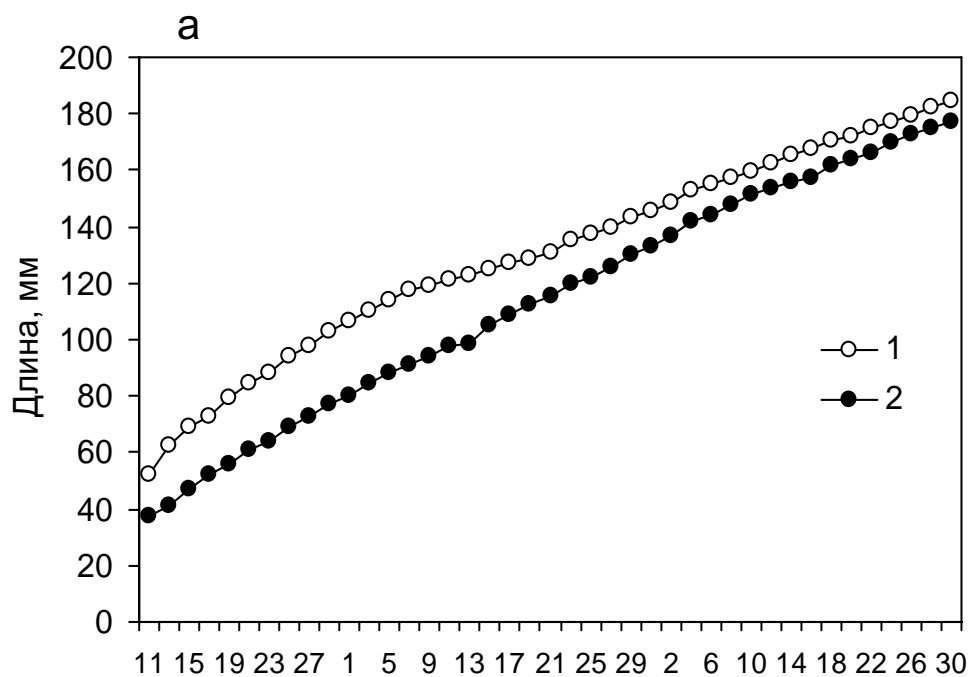
Учреждение Российской академии наук Институт биологии внутренних вод  
им. И.Д.Папанина РАН, п.Борок, Ярославская обл., Россия  
e-mail: svirs@ibiw.yaroslavl.ru

Вопросы проявления компенсационного роста у рыб рассматривались многими исследователями (Замахаяев, 1967; Мина, Клевезаль, 1976). «Компенсационным называют такой рост, при котором у крупных особей темп роста относительно замедляется, а у более мелких ускоряется» (Замахаяев, 1967; стр. 301). Автор отмечал проявление компенсационного роста в поколениях беломорской сельди, леща, чехони, судака и других видов рыб. Наши эксперименты по выращиванию мелких и крупных сеголеток щук в течение 10 лет в прудах показали, что «сближение по размерам» рыб наблюдалось к 5-летнему возрасту, после достижения длины 50 см и массы 1 кг (Иванова, Свирская, 2005). В меньшей степени исследованы особенности проявления компенсационного роста у молоди щуки, для которой характерна значительная вариабельность длины и массы тела как в одном водоеме в разные годы, так и в потомстве одной пары производителей (Фортунатова, Попова, 1973; Иванова, Свирская, 1995).

В задачу работы входило изучение особенностей питания и роста мелкой и крупной молоди щуки в течение первых трех месяцев жизни.

### Материалы и методы

Эксперименты проводили с молодью щуки, полученной от одной пары производителей. Выклюнувшихся предличинок содержали в кристаллизаторах (по 100 экз.). К концу периода эндогенного питания, когда двигательная активность предличинок увеличилась, их рассадил по 50 экз. в 4 аквариума (объем 50 л). В начале смешанного питания (IV этап развития) щукам впервые были даны зоопланктонные рачки, а еще через трое суток в корм стали добавлять личинок карповых рыб. В первые дни перехода на потребление зоопланктона одни особи для захвата рачка делали по 8–15 бросков в час. Другие личинки охотились менее успешно: совершая в час до 35–71 бросков. Первые росли быстро, вторые медленно. Появились различия в размерах, которые еще больше усилились с переходом молоди щуки на рыбное питание. В аквариумах стали отмечать случаи каннибализма, несмотря на то, что личинки карповых рыб всегда находились в избытке. Крупные личинки щуки длиной 19–21 мм, проявляя агрессивность, пытались нападать на своих однопометников, которые еще только начинали переходить на внешнее питание и имели меньшие размеры. К 11 июня, когда молодь щуки во всех аквариумах перешла на рыбное питание, однопометники различались по длине в 2 раза (26–58 мм), по массе – в 12 раз (0.1–1.2 г). В этот день были начаты наблюдения за индивидуальными особенностями питания и роста 20 разноразмерных щук: 10 крупных (группа 1) и 10 мелких (группа 2). Каждую из них предварительно измерили и взвесили, а затем посадили поодиночке в отдельные аквариумы (объемом 50 л), где они и находились до 30 августа. Щук кормили 2–3 раза в сутки молодью карповых рыб, следя за тем, чтобы в аквариумах всегда был избыток корма. Абсолютный суточный рацион оценивали путём ежедневного определения числа и общей массы съеденных каждой особью за сутки рыб. Через каждые 2 суток измеряли длину до конца чешуйного покрова (*l*) и индивидуальную массу щук (в сосудах с водой). Данные индивидуальных измерений суммировали и определяли среднее значение длины и массы тела для крупных и мелких щук в конкретный момент времени. Достоверность различий показателей их линейного и весового роста оценивали с помощью критерия Стьюдента (Лакин, 1980). Удельную скорость роста (Шмальгаузен, 1928) щук 1-й и 2-й группы рассчитывали по средним оценкам ( $n = 10$ ) длины и массы тела. Этапы развития щуки даны по Шамардиной (1957).



*Рис.1.* Линейный (а) и весовой (б) рост крупных (1) и мелких (2) сеголеток щуки *Esox lucius* в аквариумах  
а – линейный рост. По оси абсцисс – дата; по оси ординат – длина, мм;  
б – весовой рост. По оси абсцисс – дата; по оси ординат – масса, г.  
1 – крупные сеголетки щуки; 2 – мелкие сеголетки щуки.



## Результаты

*Линейный рост.* Из особей, содержащихся в группах, щуки-лидеры к 11 июня имели длину от 39 до 58 мм ( $52.2 \pm 3.3$ ); щуки-аутсайдеры – от 26 до 48 мм ( $37.8 \pm 3.0$ ). Быстрорастущие рыбы находились на IX этапе развития, медленнорастущие – на VIII. Средние оценки длины различались при  $p > 0.01$ . Из приведенных на рис. 1 а данных видно, что кривые линейного роста щук двух групп от начала к концу периода наблюдений (с 11 июня по 30 августа) постепенно сближались. В июне длина быстрорастущих щук достоверно ( $p > 0.001$ ) превышала таковую с замедленным ростом. В июле различия между ними начали постепенно сокращаться: от  $p > 0.01$  (1–7 июля) до  $p > 0.05$  (9–17 июля). К 19 июля, когда рыбы первой группы достигли длины  $129.1 \pm 4.7$  мм, а второй –  $112.4 \pm 7.2$  мм, различия в размерах между ними стали недостоверными. К концу опыта (30 августа) сеголетки имели длину соответственно –  $158\text{--}202$  ( $184.8 \pm 4.7$ ) и  $149\text{--}205$  ( $177.5 \pm 5.9$ ) мм, то есть отличия по размерам между группами еще больше сократились. Рост разноразмерных особей можно сравнивать только по удельной скорости роста. Нами установлено, что у всей подопытной молодежи от июня к августу удельная скорость линейного роста снижалась, но в большинстве случаев (31 из 40) её значение было выше у мелких щук, что и позволило им догнать по длине тела крупных собратьев.

*Весовой рост.* К моменту начала эксперимента (11 июня) масса тела мальков-лидеров была почти в 3 раза больше, чем мальков-аутсайдеров:  $0.38\text{--}1.16$  ( $0.87 \pm 0.20$ ) против  $0.10\text{--}0.62$  ( $0.30 \pm 0.07$ ) г ( $p > 0.05$ ). Кривые, демонстрирующие весовой рост молодежи щуки двух групп, изображены на рис. 1 б. Превосходство по массе в 2–3 раза (при  $p > 0.001$  и  $p > 0.01$ ) сохранялось за крупными щуками с 1 до 7 июля. В период с 9 по 25 июля щуки этой группы имели массу тела только в 1.4–1.7 раз большую, чем щуки второй группы ( $p > 0.05$ ). С 27 июля, когда крупные мальки достигли массы  $16.7 \pm 1.16$  г, а мелкие –  $12.83 \pm 1.93$  г, различия между группами стали статистически недостоверными. К 30 августа отличия по массе тела между сеголетками этих двух групп ещё больше сократились [ $28.1\text{--}46.7$  ( $37.71 \pm 2.25$ ) и  $19.0\text{--}52.1$  ( $34.25 \pm 3.66$ ) г]. В весовом росте, также как и в линейном, удельная скорость от июня к августу снижалась, но в большинстве случаев (31 из 40) её значение было выше у мальков-аутсайдеров, что и позволило им сравняться по массе тела с мальками-лидерами.

*Абсолютный суточный рацион.* Крупные мальки (группа 1) в течение первых 8 сут. после пересадки в отдельные аквариумы ежедневно съедали в среднем по 0.3 г пищи. С 21 июня количество потребляемой ими пищи ежедневно увеличивалось и достигло максимального значения (2 г) к 17 июля. Спустя два дня начался спад интенсивности их питания: к 27 июля рацион уменьшился до 1.5 г. В августе количество ежедневно съедаемой щуками пищи резко колебалось: максимумы (1.8–2.2 г) сменялись минимумами (1.2–1.4 г). В это время у отдельных лидеров были отмечены пропуски в приёмах пищи: в первой половине августа – 2 случая (у двух рыб по одному дню), во второй половине – 7 (у трёх рыб по одному дню, а у двух – дважды по одному дню).

Суточные рационы мелких щук (группа 2) в первые дни эксперимента (до 19 июня) тоже были относительно постоянными, но в 3 раза ниже, чем в группе 1. С 21 июня началось их увеличение, которое до 15 июля проходило почти синхронно с крупными щуками, но на более низком уровне. К 27 июля рационы рыб группы 2 сравнялись с таковыми рыб группы 1 (к этому дню по длине и массе группы уже не различались), но продолжали увеличиваться до 2 г (10 августа). Во II и III декадах августа суточное потребление корма варьировало от 1.4 до 2.2 г. Во время эксперимента мелкие щуки тоже периодически отказывались от пищи. В июне наблюдался 1 подобный случай, в июле – 4 (у четырёх рыб по одному дню), в конце августа – 5 (у пяти рыб по одному дню).

В период с 11 июня по 27 июля абсолютные суточные рационы рыб-лидеров были больше, чем у рыб-аутсайдеров. Общее количество съеденной ими пищи достигло 55.2 г против 35.6, потому что быстрорастущие щуки были в это время крупнее, чем медленнорастущие. После 27 июля, когда длина и масса тела рыб сравниваемых групп перестали достоверно различаться, ритмика их питания стала сходной, а количество пищи, съеденной за период с 27 июля по 30 августа, было одинаковым (60.2 и 60.3 г).

## Заключение

Известно, что компенсационный рост наблюдается у животных при снятии воздействия угнетающих рост факторов – недостатка пищи, неблагоприятного температурного режима, пресса хищ-



ников и др. (Мина, Клевезаль, 1976). Кривобок и Пупырникова (1951) отмечали компенсационный рост у молоди щуки после её перевода с зоопланктонного на рыбное питание. В нашем эксперименте молодь щуки из общего аквариума, где она содержалась в группе в течение первых трех недель после вылупления из икры, была пересажена в отдельные аквариумы, где находилась при избытке рыбной пищи в течение 80 дней. Таким образом, было устранено воздействие одних хищников на питание и рост других. Наличие в аквариуме среди 50 однопометников более крупных и агрессивных особей можно считать угнетающим фактором, который ограничивал интенсивность откорма остальных. Об этом свидетельствуют высокие суточные рационы рыб-аутсайдеров после пересадки их из общего аквариума в одиночные. Количество корма, которое съедали мелкие щуки в течение первых 10 дней после пересадки, составляло от 29 до 12 % их собственной массы тела, тогда как крупные — от 24 до 10 %. В последующие дни эксперимента относительный суточный рацион мелких особей был значительно выше, чем крупных (в 33 случаях из 40). Высокая интенсивность откорма усилила темп линейного и весового роста рыб-аутсайдеров, и они смогли догнать щук-лидеров, у которых темп роста в это время замедлился. Таким образом, длина рыб двух групп выровнялась за 38 суток, а масса тела — за 46 суток после помещения сеголеток в отдельные аквариумы.

Следовательно, щуки-аутсайдеры, недоедавшие на ранних этапах развития, после снятия угнетающего фактора, начали расти быстрее и в результате компенсационного роста догнали щук-лидеров по длине и массе тела.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке программы «Биологические ресурсы России».*

### Литература

- Замахаяев Д. Ф., 1967. О компенсационном росте // *Вопр. ихтиологии*. Т. 7, № 2. С. 303—325.
- Иванова М. Н., Свирская А. Н., 1995. О линейном росте молоди щуки *Esox lucius* (Esocidae) // *Вопр. ихтиологии*. Т. 35, № 6. С. 835—839.
- Иванова М. Н., Свирская А. Н., 2005. Рост мелких и крупных сеголеток щуки *Esox lucius* в последующие годы жизни в мелководных прудах // *Вопр. ихтиологии*. Т. 45, № 3. С. 380—388.
- Кривобок М. Н., Пупырникова А. В., 1951. Компенсация роста у молоди щуки // *Тр. Всес. НИИ мор. рыб. хоз-ва и океанографии*. Т. 19. С. 118—126.
- Лакин Г. Ф., 1980. Биометрия / М.: Высш. школа. 293 с.
- Мина М. В., Клевезаль Г. А., 1976. Рост животных / М.: Наука. 291 с.
- Фортунова К. Р., Попова О. А., 1973. Питание и пищевые взаимоотношения хищных рыб в дельте Волги / М.: Наука. 298 с.
- Шамардина И. П., 1957. Этапы развития щуки // *Тр. Ин-та морфол. животных АН СССР*. Вып. 16. С. 237—298.
- Шмальгаузен И. И., 1928. О закономерностях роста у животных // *Природа*. № 9. С. 815—838.

## ABOUT MANIFESTATION OF THE COMPENSATORY GROWTH OF JUVENILE PIKE *ESOX LUCIUS*

M. N. Ivanova, A. N. Svirskaya

Papanin Institute for the Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences, Borok, Yaroslavl obl., Russia  
e-mail: svirs@ibiw.yaroslavl.ru

Patterns of growth and nutrition of large (well-grown) and small (bad-grown) juvenile pike taken from the generation of one pair of spawners were investigated. From the hatching moment till the fry period sibs were kept in the same tank. A difference between the time of transfer to external nutrition (at first the food was zooplankton, later fish larvae), the nutrition intensity and the growth rate was revealed as early as the first stages of sibs development. In the second half of the experiment when fish were 3 weeks, 10 large and 10 small juvenile pike were selected and seated separately in aquariums where they were kept during 80 days under abundance of the fish food. The body length and weight of the studied pike were measured in 2 days and the ration size was calculated. It was determined that the small yearlings of pike grew faster than the large ones after seating them separately. The length of the small juvenile pike was as large as the large juvenile pike in 38 days, the body weight — in 46 days. Hence the small juvenile pike that didn't eat enough during early stages of development increased the intensity of feeding and demonstrated the compensatory growth after taking down oppressive factors.

## АСИММЕТРИЯ ПАРНЫХ СТРУКТУР ОБЫКНОВЕННОГО ГОЛЬЯНА НЕКОТОРЫХ ВОДОТОКОВ БАСЕЙНОВ РЕК ПЕЧОРА И ВЫЧЕГДА

Д.Д. Казакова

Сыктывкарский государственный университет, г. Сыктывкар

e-mail: kazakovadd@rambler.ru

Актуальные в наше время вопросы изучения состояния окружающей среды решаются различными способами. Одним из них является оценка показателей флуктуирующей асимметрии (ФА) парных морфологических структур. ФА – это незначительные ненаправленные отклонения от строгой симметрии в строении различных морфологических структур, в норме обладающих билатеральной симметрией. В нормальных условиях уровень этих отклонений минимален, но возрастает при любом стрессирующем воздействии, что приводит к увеличению асимметрии (Захаров и др., 1996). Как правило, величина асимметрии различных, даже не скорелированных между собой, признаков показывает согласованные изменения. Это позволяет использовать ограниченный набор признаков для характеристики стабильности развития всего организма.

Обыкновенный гольян (*Phoxinus phoxinus* L.) обитает в большинстве водоемов Республики Коми и обладает широкой экологической пластичностью. Это, а так же простота сбора гольяна в полевых условиях, делает его интересным и удобным объектом для изучения флуктуирующей асимметрии.

Нами обработаны сборы гольяна из разных участков бассейнов рек Вычегда (р. Човью – 42 экз. (2000 г.); р. Улчекша – 32 экз. (2003 г.), русла верхнего течения р. Вычегда – 42 экз. (2005 г.)), Печора (р. Гаревка – 20 экз. (2004 г.), р. Колва (ручей №3) – 24 экз. (1996 г.)) и Кара (р. Хальмерью – 41 экз. (2004 г.)). У отловленных рыб подсчитывали число жаберных тычинок на первой жаберной дуге (sp.br.), общее число лучей в грудных (V) и брюшных (P) плавниках, предварительно окрашенных раствором ализарина (Якубовский, 1970). Использование такого подхода сильно снижает вероятность ошибки при определении числа лучей в плавниках.

Уровень флуктуирующей асимметрии оценивали с использованием интегральных показателей – средней частоты асимметричного проявления на признак (ЧАП/П) и средней величины асимметрии на признак (ВАП/П), дополнительно для каждого признака рассчитывали величину асимметричного проявления (ВАП) и дисперсию по асимметрии ( $\sigma^2_d$ ) (Захаров, 1987; Захаров и др., 2000).

Показатель частоты асимметричного проявления на признак изменяется без четко выраженной закономерности и несколько превышает условную норму (ЧАП/П < 0.30) в рр. Колва, Вычегда и Гаревка (рис.1). Это превышение находится в пределах статистической ошибки, поэтому можно говорить об относительной чистоте всех исследованных водотоков.

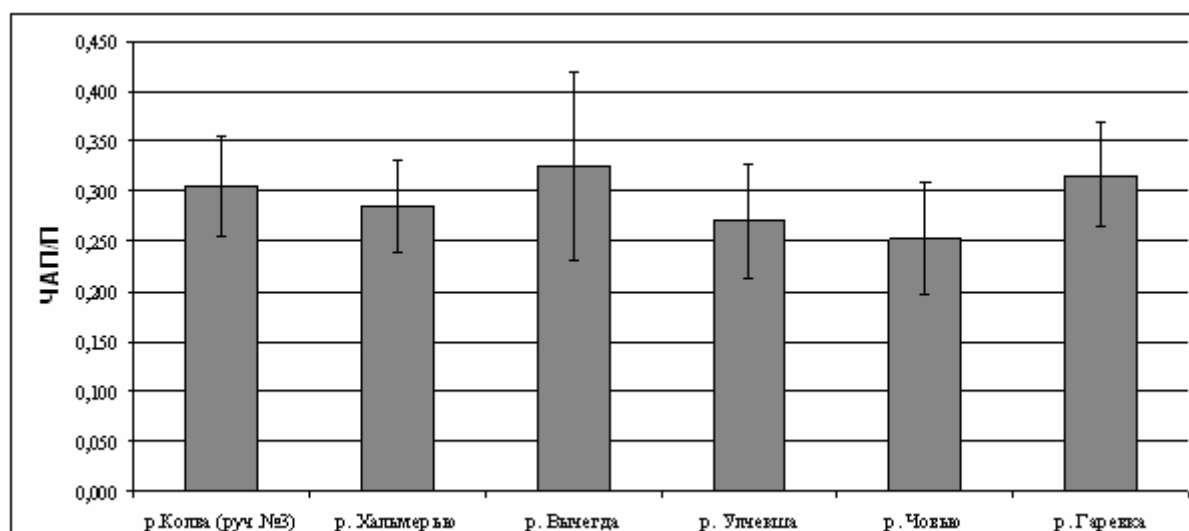


Рис. 1. Средняя частота асимметричного проявления на признак у гольяна исследованных водоемов

Величина асимметрии для жаберных тычинок значительно превышает этот показатель для парных плавников (рис. 2). Действительно данный признак обладает высоким уровнем изменчивости. К тому же малые размеры жаберных тычинок голяна повышают вероятность их повреждения при подсчете, в связи с этим несколько возрастает вероятность ошибки. Величина асимметрии грудных плавников превышает значение этого показателя полученного для брюшных плавников, что можно объяснить большим количеством лучей в грудном плавнике. Очевидно, что при формировании структур с большим числом элементов увеличивается вероятность ошибки по сравнению со структурами с меньшим числом метамерных элементов. Величина асимметричного проявления не превышает норму ( $ВАП/П < 0.040$ ) ни в одном из исследованных водотоков, что также говорит об их условной чистоте.

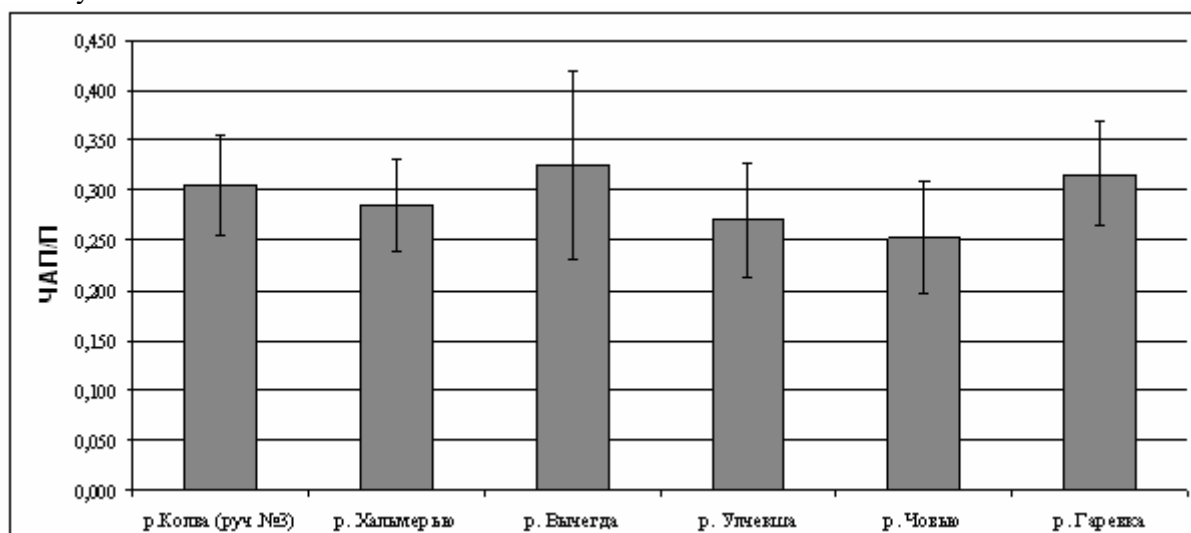


Рис. 2. Величина асимметрии жаберных тычинок (sp.br.), грудных (P) и брюшных (V) плавников и средняя величина асимметрии на признак у голяна исследованных водотоков

Другой часто используемой мерой флуктуирующей асимметрии является дисперсия по асимметрии ( $\sigma^2_d$ ), рассчитываемая для каждого из использованных морфологических признаков. Этот показатель для жаберных тычинок и грудных плавников изменяется без четкой закономерности (рис. 3).

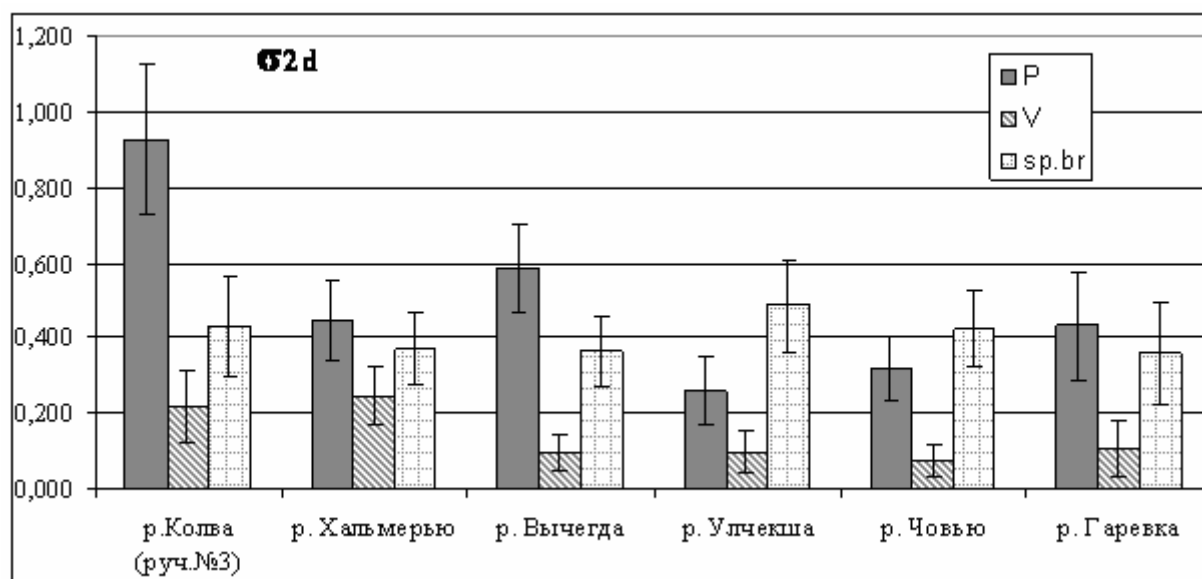


Рис. 3. Дисперсия асимметрии жаберных тычинок (sp.br.), грудных (P) и брюшных (V) плавников голяна исследованных водотоков

Уровень дисперсии ФА брюшных плавников практически линейно зависит от широты положения водоема, отражая, по-видимому, снижение стабильности протекания онтогенеза голяяна, обитающего в более суровых климатических условиях (рис. 4).

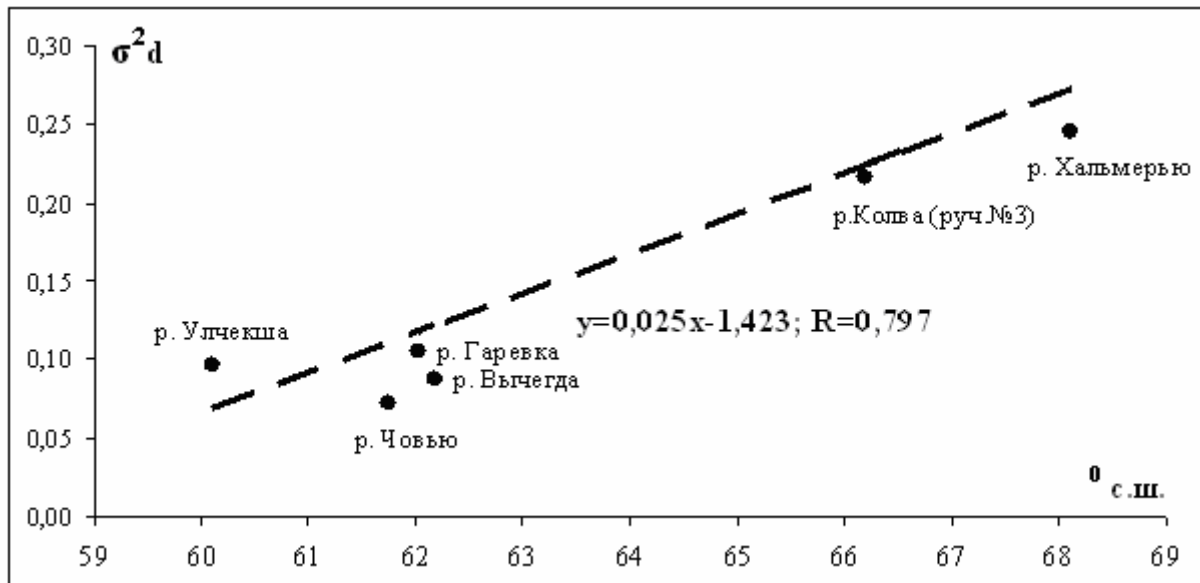


Рис. 4. Зависимость дисперсии асимметрии брюшных плавников голяяна от географического положения водоема

Данные корреляционного анализа подтверждают прямую зависимость величины показателя  $\sigma^2_d$  рассчитанного для брюшных плавников от широты положения водоема ( $r=0.95$ ). Наибольшая зависимость от уровня загрязненности поверхностных вод отмечена для дисперсии асимметрии грудных плавников ( $r=0.69$ ), коэффициент корреляции между уровнем загрязнения и остальными показателями уровня асимметрии не превышает 0.3.

Действительно, максимальный уровень дисперсии асимметрии отмечен у голяяна р. Колва. На территории бассейна этой реки осуществляется разработка нефтегазоносных месторождений, приводящая к её хроническому загрязнению. Возрастание асимметрии ранее было отмечено у ряпушки р. Колва после крупной аварии на нефтепроводе Возей – Головные сооружения (Туманов, Шубин, 1999). В нашем случае, относительно слабое нарушение процесса формирования парных структур (ЧАП/П и ВАП/П в пределах условной нормы), наблюдаемое у голяяна р. Колва, может быть обусловлено рядом факторов. Нерестилища данного вида рыб располагаются, как правило, на мелководных быстро текущих участках небольших рек и ручьев. В этих условиях приток большого количества поллютантов, скорее всего, приведет к гибели отложенной икры, при менее интенсивном воздействии – загрязняющие вещества довольно быстро сносятся течением, оказывая лишь незначительное влияние на онтогенез голяяна. Кроме того, короткий жизненный цикл голяяна может способствовать быстрой адаптации этого вида рыб к определенному характеру загрязнения. Очевидно, что для проверки данного положения необходимо проведение дополнительных исследований.

Таким образом, интегральные показатели асимметрии голяяна свидетельствуют об условно благополучном состоянии исследованных водотоков. Наблюдается тенденция к увеличению асимметрии брюшных плавников у рыб, обитающих в северных водотоках. Повышение уровня дисперсии асимметрии числа лучей в грудных плавниках у голяяна р. Колва, по-видимому, отражает уменьшение стабильности формирования данного признака под действием хронического загрязнения этого водотока.

#### Литература

- Захаров В. М., 1987. Асимметрия животных (популяционно-фенетический подход). М.: Наука. 215 с.  
 Захаров В. М., Баранов А. С., Борисов В. И., Валецкий А. В., Кряжева Н. Г., Чистякова Е. К., Чубинишвили А. Т., 2000. Здоровье среды: методика оценки. Центр экологической политики России, Центр здоровья среды. М. 68 с.

Захаров В. М., Борисов В. И., Баранов А. С., Валецкий А. В., 1996. Золотой карась (*Carassius carassius*) // Последствия Чернобыльской катастрофы: Здоровье среды. М.: Московское отделение Международного фонда «Биотест». С. 41–46.

Туманов М. Д., Шубин Ю. П., 1999 Оценка экологической ситуации в бассейне р. Усы (приток Печоры I порядка) после аварии нефтепровода по данным анализа флуктуирующей асимметрии // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов европейского Севера: Тез. докл. II Междунар. конф. Петрозаводск. С. 64–65.

Якубовский М., 1970. Методы выявления и окраски системы каналов в боковой линии и костных образований у рыб *in toto* // Зоологический журнал. Т. 49 № 9. С. 1398–1402.

## **ASYMMETRY OF THE PAIR STRUCTURES COMMON MINNOW SOME WATERWAY BASIN OF THE RIVERS PECHORA AND VYCHEGDA**

**D.D. Kazakova**

Syktyvkar state university, Syktyvkar, Russia  
e-mail: kazakovadd@rambler.ru

Fluctuate asymmetry (FA) is small undirected deviations from strict symmetry in construction of the different morphological structures, having bilateral symmetry in normal conditions. We have processed collections of minnow from different basin areas of the rivers Vychegda (116 pcs.), Pechora (44 pcs.) and Kara (41 pcs.). The frequency and the value of asymmetric manifestation on sign have no clear rule changes and there are no excess within the mark ( $FAM/S < 0.30$ ,  $VAM/S < 0.040$  accordingly). It may be explained by the purity of water in this areas. The value to asymmetry for rakers is significantly exceeded this meaning for pair fins. The dispersion of asymmetry for rakers and breast fins has no clear rule changes too. The level of dispersion FA for abdominal fins has direct dependence from width position of reservoir, demonstrated, probably, reduction of ontogeny passing stability for minnow, inhabited in severe climate conditions. Dates obtained by correlation analysis confirm the direct dependency of the value of the dispersion FA calculated for abdominal fins from width position of the reservoir ( $r=0.95$ ). The most dependency from level pollution surface water is noted for dispersion of asymmetry of the breast fins ( $r=0.69$ ), coefficient of correlation between level of contamination and rest factors for level of asymmetry does not exceed 0.3.

## **НОВЫЙ ИНДЕКС ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ СООБЩЕСТВ МАКРОЗООБЕНТОСА ГЛУБОКОВОДНЫХ РАЙОНОВ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА**

**Н.М. Калинкина, Н.А. Белкина, Т.Н. Полякова, М.Т. Сярки**

Учреждение Российской академии наук Институт водных проблем Севера  
Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск, Россия  
e-mail: kalina@nwpi.krc.karelia.ru

### **Введение**

Макрозообентос Онежского озера изучен к настоящему времени весьма подробно. Исследования ведутся более 50 лет и охватывают все районы озера. Выполнены обобщения по количественному развитию, структуре бентосных сообществ, их продуктивности, дана оценка бентоса как кормовой базы рыб Онежского озера, изучено антропогенное влияние на сообщества донных организмов (Полякова, 1980; Кауфман, Полякова, 1990; Полякова, 1992; Полякова, 1998; Полякова, 1999; Белкина, Полякова, 2000; Калинкина и др., 2005; Рябинкин, Полякова, 2008).

Донная фауна Онежского озера имеет ряд особенностей. Бентосные сообщества его профундали бедны в видовом отношении. Дно населяют виды, характерные для глубоководных, холодно-водных, изначально олиготрофных озер. В качестве доминирующих форм выступают реликтовые бокоплавы *Monoporeia affinis* Lindstr.(Bousfield) и олигохеты, суммарная численность и биомасса которых достигают 90–97% от общих показателей. Руководящей группой являются широко распространенные в озерах и реках малощетинковые черви – олигохеты. Вторая группа – реликтовые ракообразные (амфиподы) – обитает только в глубоководных озерах. Невысокую долю составляют личинки амфибиотических насекомых (хируномиды) и двусторчатые моллюски.

Большинство современных биотических индексов, основанных на использовании донной фауны, разработаны в основном для малых озер и рек (Семенченко, 2004), и мало применимы к условиям Онежского озера. Другие индексы, разработанные для больших водоемов, требуют трудоемкой работы по видовой идентификации организмов. В связи с этим весьма актуальным является поиск новых индексов, учитывающих структуру сообщества бентоса Онежского озера и позволяющих дать оценку его состояния в связи с антропогенным воздействием. Новый индекс должен быть достаточно простым, учитывающим структуру бентоса на уровне крупных таксономических рангов, поскольку, например, для олигохет оценка видового состава существенно затруднена.

Цель настоящих исследований – разработать индекс для оценки состояния сообществ глубоководных районов Онежского озера. При этом решались следующие задачи: рассмотреть статистическую природу гидробиологических показателей (численность основных групп бентоса); оценить связь гидробиологических показателей с экспертной оценкой состояния донных ценозов; выполнить зонирование дна Онежского озера по показателям бентоса; рассмотреть связь гидробиологических и физико-химических показателей донных отложений.

### Материалы и методы

В работе использовали данные по численности амфипод, олигохет и хирономид за 1990–2007 гг. из различных районов Онежского озера (всего 517 проб, общее количество станций – 120). Количественные пробы бентоса отбирали дночерпателем Экмана-Берджа (площадь захвата 225 см<sup>2</sup>), используя в дальнейшем стандартные методики их обработки (Методические рекомендации..., 1984). В качестве физических и химических показателей донных отложений использовали: окислительно-восстановительный потенциал, pH, влажность, пористость, содержание углерода, азота, фосфора, марганца, железа, растительных пигментов, потери при прокаливании, потребление кислорода (данные за 2001–2008 гг. по 260 пробам; общее количество станций – 90). Отбор проб илов на химический анализ производился поршневой трубкой оригинальной конструкции. Химические анализы выполнены методами (Аринушкина, 1961; Belkina, 1999). Для обработки данных применяли методы многомерной статистики (Шитиков и др., 2005).

### Результаты и обсуждение

Исследованиями было установлено, что показатели численности амфипод, олигохет и хирономид распределяются по логнормальному закону. Исходные данные подвергали несложным преобразованиям (вычисляли корень степени 0.5 и логарифмировали). Распределение преобразованных данных достоверно не отличалось от нормального ( $p < 0.05$ ), что позволило в дальнейшем применять к ним параметрические методы статистики.

Каждой исследованной станции, где были отобраны пробы донных отложений, была присвоена экспертная оценка состояния макрозообентоса. Оценка принимала следующие значения: 1 балл (исходное состояние бентоса, вне зоны антропогенного воздействия); 2 (весьма слабое изменение); 3 (изменение средней степени); 4 (сильное изменение); 5 баллов (весьма сильно измененное состояние, вплоть до мертвых зон).

Для оценки информационной значимости гидробиологических данных вычисляли ранговый коэффициент корреляции Спирмена между преобразованными показателями численности трех групп, соотношениями их абсолютных значений, с одной стороны, и экспертной оценкой, с другой стороны. Корреляция разных показателей с экспертной оценкой различалась (табл. 1).

Таблица 1

Связь показателей численности с экспертной оценкой состояния донных сообществ

Показатели	Коэффициент корреляции
Численность амфипод	–0,31
Численность олигохет	0,47
Численность хирономид	0,17
Численность амфипод/ Численность олигохет	–0,48
Численность амфипод/ Численность хирономид	–0,38
Численность олигохет/Численность хирономид	0,22

Все рассчитанные коэффициенты были достоверны ( $p < 0.05$ ,  $n = 517$ ), однако наиболее тесную связь с экспертной оценкой проявили показатели – «Численность амфипод», «Численность олигохет» и соотношение «Численность амфипод/ Численность олигохет». Причиной такой тесной корреляции является разная толерантность представителей амфипод и олигохет к антропогенному воздействию. Реликтовые ракообразные являются наименее устойчивыми к действию загрязняющих веществ. Они весьма требовательны к содержанию кислорода в среде обитания, чувствительны к присутствию токсикантов. Именно для этой группы характерна выраженная отрицательная реакция на поступление загрязняющих веществ (район воздействия Кондопожского ЦБК, район поступления коммунальных сточных вод Петрозаводска, Медвежьегорска и др.). Олигохеты проявили противоположную амфиподам реакцию. Их численность резко увеличивалась в местах загрязнения донных отложений за счет интенсивного развития весьма устойчивых представителей этой группы – тубифицид.

Выявленная гораздо более слабая связь с экспертной оценкой численности хирономид объясняется особенностями их биологического цикла. Вылет имаго отражается на высокой изменчивости показателей численности личинок насекомых.

Наиболее информативные показатели – численность амфипод, олигохет и их соотношение были использованы для зонирования дна Онежского озера. Для выделения зон на дне Онежского озера применили метод главных компонент, который позволяет учитывать при классификации объектов не только абсолютные значения признаков, но и, что наиболее важно для нашего случая, их соотношения. В качестве показателей использовали преобразованные значения численности амфипод и олигохет. На рисунке 1 представлены результаты классификации проб бентоса для Кондопожской губы Онежского озера.

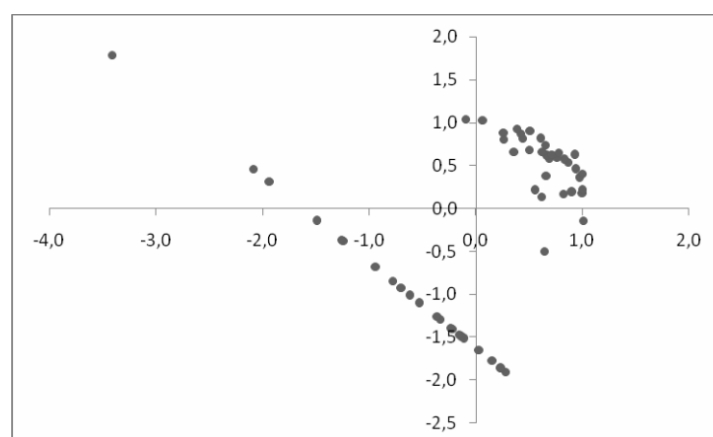


Рис. 1. Расположение проб зообентоса из Кондопожской губы Онежского озера в осях главных компонент; по оси абсцисс – первая компонента; по оси ординат – вторая компонента

В первую главную компоненту (ось абсцисс) показатели численности амфипод и олигохет вошли с достоверными положительными весовыми коэффициентами. Следовательно, эта компонента отражает обилие бентоса в пробе. Во вторую главную компоненту (ось ординат) показатели вошли с достоверными коэффициентами, но с противоположными знаками. Значит, вторая компонента представляет собой соотношение численности амфипод и олигохет. На графике хорошо заметно разделение всех проб на две группы. Группа, расположенная в нижней части диаграммы, состоит из проб, отобранных в наиболее загрязненных участках Кондопожской губы. Эта зона начинается в вершинной части губы, где находится целлюлозно-бумажный комбинат, и простирается на юго-восток, примерно на 10 км. Пробы из другой группы (вверху графика) были отобраны из более чистых центральной и открытой частей Кондопожской губы (более чем в 10 км от комбината). Таким образом, с помощью метода главных компонент было проведено разделение всех проб на две большие группы – из загрязненных и слабо измененных участков Кондопожской губы.

Более детальная классификация проб была выполнена с использованием дискриминантного анализа. Пробы бентоса были разделены на три группы по величине соотношения численности ам-

фипод и олигохет. Эта соотношение получило условное название «амфиподно-олигохетного индекса». Всего было выделено три категории значений индекса, которым соответствовали три зоны с разной степенью изменения донных сообществ в результате антропогенного воздействия (табл. 2).

Таблица 2

**Пороговые значения амфиподно-олигохетного индекса (А/О) для классификации проб зообентосА**

Номер категории	Пороговые значения индекса	Характеристика зоны
1	$A/O < 0.005$	Импактная зона антропогенного воздействия
2	$0.005 < A/O < 0.08$	Зона заметного антропогенного воздействия
3	$A/O > 0.08$	Зона слабого антропогенного воздействия

В отдельную, четвертую, группу были выделены пробы с полным отсутствием организмов бентоса. Эти пробы были взяты из вершинной части Кондопожской губы, так называемой «мертвой зоны», где развитие бентоса полностью подавлено в связи с интенсивным загрязнением здесь донных осадков.

Дискриминантный анализ показал, что точность разнесения проб в четыре группы составила 98%. Поскольку зона слабого антропогенного воздействия в Кондопожской губе характеризовалась высокими показателями общего развития организмов макрозообентоса, то она получила название «зоны повышенного развития бентоса».

Выявленные пороговые значения амфиподно-олигохетного индекса были использованы для зонирования дна в других районах Онежского озера (Петрозаводская губа, Повенецкий залив, Кижские шхеры, Центральное Онего и др.). Точность выделения трех зон, согласно данным дискриминантного анализа, была высока и варьировала в пределах 95-98%. Пробы, отобранные в центральном глубоководном районе озера, были отнесены к третьей зоне, однако характеризовались наиболее низкими общими показателями развития бентоса. Этот район получил название «фоновой зоны».

Таким образом, амфиподно-олигохетный индекс позволил с высокой точностью разделить пробы макрозообентоса на группы и выделить пять зон в различных районах Онежского озера: мертвая, импактная, среднего воздействия, повышенного развития бентоса, фоновая.

Был выполнен анализ распределения логарифмированных значений этого индекса, вычисленного для всего массива данных по всему Онежскому озеру. Оказалось, что распределение индекса имеет резко асимметричный характер (рис. 2).

Наблюдаемый асимметричный характер распределения значений индекса отражает действие антропогенного фактора, приводящего к заметному снижению его значений в зонах загрязнения. Для проверки этого предположения весь массив данных была разделен на две группы. Первую группу составили значения индекса менее 0.08, т.е. пробы из зоны сильного и среднего воздействия (см. табл. 2).

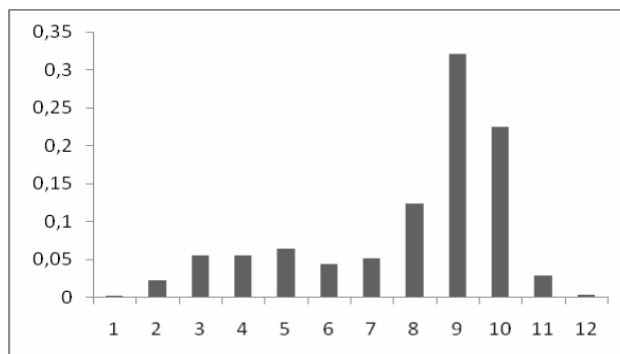


Рис. 2. Частоты логарифмированных значений амфиподно-олигохетного индекса для массива данных по всему Онежскому озеру; по оси абсцисс – номер класса; по оси ординат – частота

Во вторую группу вошли пробы со значениями индекса более 0.08, т.е. из зон слабого воздействия и фоновой. Первая группа сохранила асимметричный характер распределения, который достоверно отличался от нормального. Вторая группа значений имела нормальное распределение



( $p=0.056$ ,  $n=354$ ), что характерно именно для чистых районов озера (рис. 3). Таким образом, индекс действительно отражает существование зон загрязнения и может быть использован для их идентификации на дне Онежского озера.

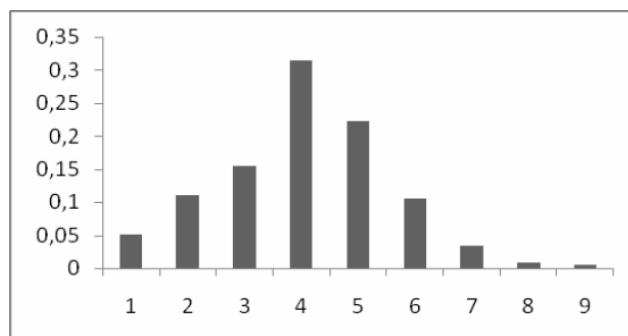


Рис. 3. Частоты логарифмированных значений амфиодно-олигохетного индекса для массива данных из зон слабого воздействия и фоновой; по оси абсцисс – номер класса; по оси ординат – частота

Одной из задач исследования было выяснение характера связи между гидробиологическими и физико-химическими показателями донных осадков. Для выделенных зон были рассчитаны средние значения физико-химических показателей. Оказалось, что ход большинства физических и химических показателей при переходе от фоновой зоны к наиболее загрязненным отражает закономерные процессы. Так, величина окислительно-восстановительного потенциала снижалась, а содержание углерода возрастало, что отражало процессы накопления и последующего разложения органического вещества сточных вод и связанное с этим потребление кислорода из водной толщи. Что касается биогенных элементов, то их накопление и трансформация в различных зонах связаны не только с поступлением сточных вод, но и с процессами седиментогенеза в глубоководных районах Онежского озера. Таким образом, выделенные по величине амфиодно-олигохетного индекса зоны отражают не только разную степень изменения макрозообентоса, но и различную загрязненность донных отложений.

### Выводы

На основании анализа данных за 1990–2008 гг. разработан амфиодно-олигохетный индекс для оценки состояния донных сообществ бентали Онежского озера. Индекс прост в определении и позволяет выделять зоны загрязнения на дне Онежского озера. С использованием индекса выделено пять зон на дне Онежского озера: мертвая, импактная, среднего воздействия, повышенного развития бентоса, фоновая. Зоны отражают изменения основных гидрохимических показателей, связанные с антропогенным воздействием. Амфиодно-олигохетный индекс может быть внедрен в систему экологического мониторинга за состоянием Онежского озера при автоматизированной обработке результатов наблюдений.

### Литература

- Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1961. 491 с.
- Белкина Н.А., Полякова Т.Н., 2000. Многолетние изменения химического состава донных отложений и структуры ценозов макрозообентоса // Гидроэкология на рубеже веков. Тезисы докладов международной конференции. СПб. С. 23–25.
- Калинкина Н.М., Тимакова Т.М., Полякова Т.Н., Белкина Н.А., 2005. Проблемы биотестирования донных отложений // Экологические проблемы токсикологии. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ. С. 39–51.
- Кауфман З.С., Полякова Т.Н., 1990. Донная фауна // Экосистема Онежского озера и тенденции ее изменения. Л.: Наука. С. 216–230.
- Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зообентос и его продукция. Л.: Изд-во ГосНИОРХ, 1984. 52 с.
- Полякова Т.Н., 1980. Зообентос Петрозаводской губы Онежского озера // Гидробиология Петрозаводской губы Онежского озера. Петрозаводск: КФ АН СССР. С. 103–129.
- Полякова Т.Н., 1992. Современное состояние донных сообществ Большой губы Повенецкого залива // Большая губа Повенецкого залива. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. С.88–98.

Полякова Т.Н., 1998. Макрозообентос. Онежское озеро // Современное состояние водных объектов Республики Карелия. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. С.64–67.

Полякова Т.Н., 1999. Донные ценозы в условиях антропогенного эвтрофирования // Онежское озеро. Экологические проблемы. Ред. Н.Н. Филатов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. С. 211–227.

Рябинкин А.В., Полякова Т.Н., 2008. Макрозообентос озера и его роль в питании рыб // Биоресурсы Онежского озера. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. 272 с.

Семенченко В.П., 2004. Принципы и системы биоиндикации текучих вод. Мн.: Орех. 125 с.

Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д., 2005. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения. Кн. 2. 337 с.

Belkina N.A., 1999. Chemical composition of sediments // Analytical and sampling methods for environmental monitoring in Lake Ladoga and other large lakes in Russia. Joensuu. V.3 P. 18–21.

## **A NEW INDEX TO ASSESS THE CONDITION OF MACROZOOBENTHOS COMMUNITIES IN DEEP-WATER PARTS OF LAKE ONEGO**

**N.M. Kalinkina, N.A. Belkina, T.N. Polyakova, M.T. Syarki**

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre, RAS, Petrozavodsk, Russia

The data on macrozoobenthos communities in Lake Onego collecting in 1990–2008 are presented. New the amphipod/oligochaete index was worked to assess the condition of benthic communities in Lake Onego. The index is easy to apply, and enables identification of pollution zones on Lake Onego bottom. Five zones were distinguished on Lake Onego bottom using the index: dead, heavy impact, moderate impact, increased benthos development, reference zones. The zones reflect changes in the main hydrochemical parameters, related to human impact. The amphipod/oligochaete index can be integrated into the system of Lake Onego ecological monitoring with automated processing of the results of observations.

## **ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КОРМОВОЙ БАЗЫ РЫБ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА**

**Н.М. Калинкина, М.Т. Сярки, Е.В. Теканова, Т.А. Чекрыжева, Т.М. Тимакова,  
Т.Н. Полякова, А.В. Рябинкин**

Учреждение Российской академии наук Институт водных проблем Севера

Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск, Россия

e-mail: kalina@nwpi.krc.karelia.ru

### **Введение**

Важнейшим направлением гидробиологических исследований является оценка биоресурсного потенциала водных экосистем (Алимов и др., 2005). Точное количественное определение вылова рыбы возможно с использованием продукционного подхода, который предполагает исследование закономерностей передачи вещества и энергии через трофические звенья экосистемы (Винберг, 1960; Алимов, 1989; Алимов, 2000). В более ранних исследованиях рассчитывались элементы биотического баланса для отдельных районов Онежского озера (Экосистема Онежского озера и тенденции ее изменения, 1990; Онежское озеро, 1999). В настоящей работе впервые выполнен расчет биотического баланса для экосистемы Онежского озера в целом, при этом в расчет включено высшее звено экологической пирамиды – рыбы.

Цель настоящих исследований заключалась в изучении трофической структуры и рыбопродуктивности экосистемы Онежского озера. Задачи, которые решали в ходе исследования: оценить первичную продукцию фитопланктона; оценить современное состояние сообществ бактерио-, фито-, зоопланктона, бентоса как основы для формирования кормовой базы рыб; оценить возможную рыбопродукцию Онежского озера.

### **Материалы и методы**

В работе представлены данные по планктонной системе Онежского озера за 1988–2006 гг.; данные по макрозообентосу – за 2001–2006 гг. Использовали показатели численности, биомассы и

продукции основных компонентов экосистемы Онежского озера. В расчетах применяли уравнения зависимости рыбопродукции от гидробиологических показателей (Китаев, 1984; 2007), а также балансовую модель, описывающую трофические связи и потоки энергии между компонентами пресноводных экосистем (Бульон, 2005).

### Результаты и обсуждение

Выполнен анализ видовой и размерной структуры, а также динамики показателей количественного развития (численность, биомасса) фитопланктона, важнейшего компонента биоресурсной базы Онежского озера. Для оценки промыслового вылова рыбы по биомассе фитопланктона использовали регрессионное уравнение:

$$P = 4,546 B\phi^{0,691},$$

где  $P$  – промысловый вылов, кг/га в год;  $B\phi$  – биомасса фитопланктона, г/м<sup>3</sup>.

Расчеты показали, что промысловый вылов в Онежском озере будет составлять 1,5–2,7 тыс. тонн в год, что соответствует наблюдаемым величинам уловов в 1946–1995 годах (Кудерский и др., 1997).

По показателям первичной продукции фитопланктона Онежское озеро в целом представляет собой олиготрофный водоем, за исключением эвтрофируемых Кондопожской и Петрозаводской губ, где продукция фитопланктона достигает показателей мезотрофных вод.

Была выполнена оценка вклада этих заливов в первичное продуцирование водоема с учетом площадей (табл. 1). Годовая продукция фитопланктона Кондопожской и Петрозаводской губ достигает 11,7–18,7 (среднее 14,6) тыс. тонн органического углерода, а с площади озера в целом с учетом этих заливов – 150,6–207,4 (среднее 172,1) тыс. тонн. Таким образом, участие эвтрофируемых заливов в первичном продуцировании Онежского озера можно оценить в среднем примерно в 9%.

Таблица 1

**Вклад Кондопожской и Петрозаводской губ в первичную продукцию Онежского озера с учетом площадей, тыс. тонн С в год**

		1989	1990	1991	1993	среднее
Губы	Кондопожская губа	13,4	12,7	9,9	9,1	11,3±1,0
	Петрозаводская губа	5,3	3,1	4,3	2,6	3,8±0,6
	В общем	18,7	15,8	14,2	11,7	14,6±1,1
Озеро в целом с учетом губ		207,4	169,0	150,6	161,2	172,1±12,4
Вклад губ в первичную продукцию озера, %		9,0	9,3	9,4	7,3	8,7±0,5

Годовая продукция фитопланктона в Онежском озере достигает 140–2100 тыс. тонн сырого веса. Ее невысокая межгодовая изменчивость (1,5 раза) свидетельствует о стабильности первично-продукционного потенциала экосистемы озера в целом на протяжении длительного времени.

Для расчетов использовали соотношение, согласно которому уловы рыб в водоемах озерного типа составляют 0,2% от продукции фитопланктона (Бульон, Винберг, 1981; Бульон, 2005; Китаев, 1984, 2007). Согласно полученным данным, общий улов без ущерба для рыбного сообщества в Онежском озере может составлять 2,9–4,1, в среднем 3,3±0,2 тыс. тонн. Годовая рыбопродукция составляет около 9 тыс. тонн в год.

В Онежском озере, в связи со значительным поступлением аллохтонного органического вещества, на продуктивность зоопланктона и бентоса заметное влияние оказывает уровень развития бактерий. За исключением наиболее освоенных и антропогенно эвтрофируемых северо-западных губ (Кондопожской и Петрозаводской, Большой губы Повенецкого залива) в глубоководной части акватории озера численность бактерий в летний период достигает 0,5–1,03, в среднем – 0,79 млн./мл, что определяет формирование здесь небольших величин бактериальной биомассы – 0,17–0,34 г/м<sup>3</sup>, в среднем 0,26 г/м<sup>3</sup>. В весенний период, который продолжается вплоть до июля, численность и биомасса бактерий характеризуются еще меньшими значениями. Лишь в губах, загрязняемых промышленными и хозяйственно-бытовыми стоками (Кондопожская, Петрозаводская, Большая губа Повенецкого залива), в составе которых значительную долю составляет органическое вещество, численность и биомасса бактерий возрастает в 2–2,5 раза.

Для характеристики ресурсных возможностей развития кормовой базы зоопланктона в Онежском озере представлены данные по распределению биомасс бактериопланктона на акватории озера и их соотношение с биомассой фитопланктона. Показано, что гетеротрофное звено в питании зоопланктона имеет значение, сопоставимое с фитопланктоном. Особенно возрастает роль бактерий, как пищевого ресурса зоопланктона, в осенне-зимний период, когда продукционная активность фитопланктона снижается до минимальных значений, а в подледный период – практически до нуля.

Звено зоопланктона является неотъемлемой частью экосистемы водных объектов. Крупные олиготрофные озера, такие как Онежское, имеют экосистему планктонного типа, т.е. основные потоки органического вещества и энергии от продуцентов к высшим трофическим звеньям идут именно через зоопланктонные сообщества простейших, коловраток и ракообразных. Распределение количественных показателей зоопланктона по акватории озера определяется температурными и динамическими условиями. В центральной части озера, в глубоководных заливах Большое Онего и Повенецком, количественные показатели обычно не превышают 20 тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомасса – менее 1 г/м<sup>3</sup> и соответствуют олиготрофному статусу системы. В губах показатели обычно выше, до 1,5–2 г/м<sup>3</sup>. Максимальные величины отмечены для антропогенно-трансформированного района, вершинной части Кондопожской губы (до 6 г/м<sup>3</sup>). Рассмотрены основные закономерности сезонной динамики зоопланктона, многолетняя динамика его биомассы для различных участков, дана оценка продукции зоопланктона для центрального района и эвтрофируемых заливов Онежского озера.

Для оценки уловов рыб по биомассе зоопланктона было применено уравнение (Коваль, Казанский, 1984):

$$Y = 4.408 \cdot X^{0.698},$$

где Y, кг/га – вылов рыбы; X, г/м<sup>3</sup> – биомасса зоопланктона. Если принять среднюю летнюю биомассу зоопланктона за 0,3–0,5 г/м<sup>3</sup>, то предположительные уловы будут равны 1,90–2,7 кг/га или около 2–2,5 тыс. т. на все озеро. При более высоких биомассах в губах, например в Петрозаводской губе (1–1,5 г/м<sup>3</sup>), оценки уловов увеличиваются от 4,5 до 5,8 кг/га. Таким образом, рыбопродукция превышает 6 кг/га или 6–7,5 тыс. тонн на все озеро.

Для оценки продуктивности макрозообентоса было изучено пространственное распределение его численности и биомассы в различных районах озера. Средние численность и биомасса зообентоса в профундальных районах (например, центральном плесе) достигают 1,66 тыс. экз./м<sup>2</sup> и 3,30 г/м<sup>2</sup>, в эвтрофируемых заливах эти показатели в несколько раз больше – 7,3–8,3 тыс. экз./м<sup>2</sup> и 8,3–12,6 г/м<sup>2</sup>, на разных типах литорали – 7,5–14,6 тыс. экз./м<sup>2</sup> и 6,2–12,3 г/м<sup>2</sup>. Таким образом, макрозообентос характеризуется высокой пространственной гетерогенностью, что определяет трудности при оценке рыбопродуктивности по его показателям.

В связи с появлением в озере вселенца – байкальской амфиподы *Gmelinoides fasciatus* Stebbin – заметно изменилась ситуация в литоральной зоне Онежского озера. По результатам исследований 2005–2006 гг., инвазивный вид *G. fasciatus* обнаружен практически на всех прибрежных участках Онежского озера. Максимальные значения вклада вселенца достигают 84% от общей биомассы макрозообентоса литоральных ценозов.

Был выполнен расчет потенциальной рыбопродукции по кормовой базе двумя способами, используя уравнения  $P' = P_b \times 1/U \times K_2 \times K_e$ ; и  $P' = P_b / KK \times K_e$ ,

где P' – продукция рыб, P<sub>b</sub> – «чистая» (без рациона хищных животных) продукция кормовых организмов, 1/U – усвояемость корма рыбами = 0,8; K<sub>2</sub> – коэффициент эффективности использования ассимилированной пищи на рост = 0,3. K<sub>e</sub> – коэффициент максимально возможного использования рыбой кормовых организмов, принятый равным 0,5; KK – кормовой коэффициент.

«Чистая» продукция кормовых организмов, рассчитанная на основе физиологического метода, равна 12,33 г/м<sup>2</sup>. Продуктивность ихтиоценоза, рассчитанная по продукции зообентоса, составляет от 12,2–18,0 кг/га или 4,9–7,5 тыс. т. в год. Ориентировочные расчетные уловы при условии 30% изъятия без ущерба для популяций бентосоядных рыб, составят 1,5–2,5 тыс. тонн в год.

Эффективным методом изучения биотического баланса Онежского озера является моделирование. Нами была рассмотрена балансовая модель В.В. Бульона (2005), которая включает в себя описание наиболее общих закономерностей функционирования биоты пресноводной экосистемы и ее связи с факторами среды. Модель содержит 70 уравнений, имеется 5 входных параметров. Модель рассчитывает первичную продукцию и перераспределение энергии по трофическим уровням экосистемы – от фитопланктона до рыб.

Входные данные для Онежского озера составляют: содержание фосфора – 12 мкг/л, цветность – 20 град., географическая широта – 62 град., средняя глубина – 30 м, максимальная глубина – 120 м. Первое использование модели выявило несоответствие расчетных данных реальным: была рассчитана в 2–3 раза большая продукция фитопланктона, чем наблюдается в действительности. Анализ данных показал, что причиной такого несовпадения является особенность формирования первичной продукции фитопланктона в Онежском озере. Так, средневегетационная фотосинтетическая активность хлорофилла составляет лишь 13 мгС/мгChl, в то время как в модели эта величина была существенно выше – 30 мгС/мгChl. Существенно меньшая интенсивность фотосинтеза связана с доминированием в фитопланктоне Онежского озера крупных диатомовых водорослей.

После изменения коэффициента интенсивности фотосинтеза были рассчитаны показатели продукции для разных компонентов экосистемы Онежского озера (табл. 2).

Таблица 2

**Сравнение эмпирических данных и модельных расчетов для различных компонентов биотического баланса в Онежском озере**

Компоненты экосистемы	Эмпирические данные			Модельные расчеты		
	В, г/м <sup>2</sup>	Р, ккал/м <sup>2</sup>	% от ПП	В, г/м <sup>2</sup>	Р, ккал/м <sup>2</sup>	% от ПП
Фитопланктон	2–5	100–150	–	2,7	136	–
Зоопланктон	3,5	17–23	11–23	3,6	22	16
Зообентос	4	6	4–6	1,1	4	2,9
Рыбы	–	0,6–0,9	0,4–0,9	5,7	0,57	0,4

Примечания: В – биомасса; Р – продукция; ПП – первичная продукция фитопланктона.

В таблице 2 представлены эмпирические данные и модельные расчеты величин по биомассе и продукции основных компонентов экосистемы Онежского озера. Модель воспроизводит биомассу и продукцию фитопланктона, близкую к реальным данным. Хорошо совпадают и данные по зоопланктону. Заметное различие между расчетными и эмпирическими данными обнаружилось для сообщества макрозообентоса, что можно объяснить высокой пространственной гетерогенностью этого компонента, которую модель не учитывает. Особый интерес представляют расчеты ихтиопродукции, которые составили 0,57 ккал/м<sup>2</sup> или около 11 тыс. тонн на озеро в год. Уловы рыб в Онежском озере составляют около 20 % от рыбопродукции.

### Выводы

Особенности Онежского озера – большие размеры, холодноводность, существенная роль аллохтонного вещества в функционировании экосистемы – определяют характерные свойства его флоры и фауны и, в конечном счете, уровень рыбопродукции экосистемы.

Фитопланктон является основой потока вещества и энергии в Онежском озере, создавая большую часть всей первичной продукции. Основная доля биомассы водорослей и их продукции синтезируются в глубоководном центральном плесе, достигая по биомассе 0,2–0,6 г/м<sup>3</sup>; по продукции – 80–130 г С/м<sup>2</sup> в год. По сравнению с этим районом более продуктивные Петрозаводская и Кондопожская губы составляют лишь около 2% от запаса биомассы. Продукция фитопланктона в этих заливах не превышает 9% от общей для водоема. Для видового состава фитопланктона характерна значительная роль холодолюбивых диатомовых водорослей, что определяет относительно низкую фотосинтетическую активность фитопланктоценозов. Бактериопланктон не является кормовым ресурсом для рыб, однако составляет пищевую основу протозойного и метазойного планктона. Усваивая отмирающий фитопланктон и аллохтонное органическое вещество, бактерии передают энергию на высшие гетеротрофные уровни. В пелагической системе роль бактериопланктона в питании зоопланктона сопоставима с фитопланктоном. Однако в литоральной зоне доминирующее значение принадлежит планктонным водорослям. Зоопланктон Онежского озера представляет собой важнейшее звено в передаче энергии от первичных продуцентов к рыбам. Это подтверждается данными по структуре уловов: доля рыб-планктофагов в них составляет около 80%.

Анализ гидробиологических данных показал, что Онежское озеро на основной части своей акватории в течение последних 50-ти лет продолжает сохранять исходный олиготрофный статус. Это свидетельствует о стабильности кормовой базы рыб. Отдельные глубоководные районы озера

(Большое Онего), находятся на начальных стадиях эвтрофирования, которое сопровождается ростом биомассы зоопланктона и бентоса за счет особенно ценных в кормовом отношении видов и ведет к увеличению кормовой базы. В результате стихийного вселения байкальской амфиподы существенно (почти в 1.5 раза) повысилась продуктивность литорали Онежского озера.

Проведенные расчеты возможных уловов рыб на основе современных данных по продукции фитопланктона, биомассе фитопланктона и зоопланктона, продукции зообентоса Онежского озера показали, что объем вылова рыбы может быть не меньше, чем в наиболее урожайные годы. Так, по величине продукции фитопланктона общий улов без ущерба для рыбного сообщества в Онежском озере может составлять 2.9–4.1, в среднем  $3.3 \pm 0.2$  тыс. тонн в год. Расчеты по биомассе фитопланктона показали, что промысловый вылов в Онежском озере может составлять 1,5–2,7 тыс. тонн в год. По величине средней летней биомассы зоопланктона уловы составляют около 2–2.5 тыс. тонн на все озеро. Ориентировочные возможные уловы бентосоядных рыб могут составлять 1.5–2.5 тыс. тонн в год. Расчеты рыбопродукции, выполненные при использовании модели В.В. Бульона (2005), представляют собой величины, соизмеримые с данными, полученными по уравнениям регрессии для отдельных гидробиологических показателей (6–11 тыс. тонн в год).

Таким образом, оценки потенциальных уловов с использованием различных гидробиологических показателей оказались очень близкими друг к другу, что подтверждает корректность выполненных расчетов и позволяет их использовать для дальнейших прогнозов возможных уловов рыбы в Онежском озере.

### Литературв

- Алимов А.Ф., 1989. Введение в продукционную гидробиологию. Л.: Гидрометеиздат. 151 с.
- Алимов А.Ф., 2000. Элементы теории функционирования водных экосистем. СПб.: Наука. 147 с.
- Алимов А.Ф., В.В. Бульон, С.М. Голубков, 2005. Динамика структурно-функциональной организации экосистем континентальных водоемов / Фундаментальные основы управления биологическими ресурсами. Сборник научных статей. Москва: Товарищество научных изданий КМК. С. 241–253.
- Бульон В.В., 2005. Моделирование потоков энергии в озерных экосистемах как инструмент гидробиологических исследований // Водные ресурсы. Т. 32, № 3. С. 361–370.
- Бульон В.В., Винберг Г.Г., 1981. Соотношение между первичной продукцией и рыбопродуктивностью водоемов // Основы изучения пресноводных экосистем. Л.: Наука. С. 5–10.
- Винберг Г.Г., 1960. Первичная продукция водоемов. Минск: Изд-во АН БССР. 328 с.
- Китаев С.П., 1984. Экологические основы биопроductивности озер разных природных зон. М.: Наука. 207 с.
- Китаев С.П., 2007. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. 395 с.
- Коваль В.П., Казанский А.Б., 1984. Эмпирический подход к прогнозированию рыбопродуктивности проектируемых водохранилищ // Вопросы прогнозного обеспечения рыбного хозяйства на внутренних водоемах. Л. С. 119–134.
- Онежское озеро. Экологические проблемы, 1999. / Под ред. Н.Н. Филатова. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН. 293 с.
- Экосистема Онежского озера и тенденции ее изменения, 1990. Л.: Наука. 264 с.

## THE PECULIARITIES OF FISH FOOD BASE FORMING IN LAKE ONEGO

N.M. Kalinkina, M.T. Syarki, E.V. Tekanova, T.A. Tchekryzheva, T.M. Timakova,  
T.N. Polyakova, A.V. Ryabinkin

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre, RAS, Petrozavodsk, Russia  
e-mail: kalina@nwpi.krc.karelia.ru

An attempt to assess of Lake Onego productivity is presented. The production-based approach, which investigates the transfer of matter and energy through the food chains, was used. For the first time, the biotic balance for Lake Onego ecosystem was calculated, including fish. In this work the data on the plankton system in Lake Onego in 1988–2006 were used; data on macrozoobenthos were obtained in 2001–2006. The estimation of phytoplankton primary production, the assessment of current status of bacterial, phyto-, zooplankton, benthos communities and their production characteristics were carried out. Fish production was calculated by two methods. Firstly, the equations describing dependence of fish production on hydrobiological parameters (Kitaev 1984, 2007) was applied. Secondly, the balance model describing trophic relations and energy fluxes through components of the freshwater ecosystem by V.V. Boulion (2005) was employed.

# ВЛИЯНИЕ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА ВНУТРИКЛЕТОЧНЫЕ $\text{Ca}^{2+}$ -ЗАВИСИМЫЕ ПРОТЕИНАЗЫ *MYTILUS EDULIS* L. В ЭКСПЕРИМЕНТАХ *IN VITRO* И *IN VIVO*

Н. П. Канцерова<sup>1</sup>, Л. А. Лысенко<sup>1</sup>, Н. Н. Немова<sup>1,2</sup>, В. В. Осташкова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Учреждение Российской Академии наук Институт биологии Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск, Россия

<sup>2</sup> Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск  
e-mail: nkantserova@yandex.ru

Тяжелые металлы (ртуть, кадмий, свинец, медь, цинк и некоторые другие) – одни из основных поллютантов, поступающих в морскую среду, главным образом, с атмосферными осадками и в процессе таяния снега. Им свойственны высокая биологическая активность, способность к аккумуляции в организме без уменьшения токсичности, легкость биопереноса в окружающей среде. Все возрастающее антропогенное загрязнение различных экосистем, в том числе морских, делает актуальным изучение механизмов воздействия тяжелых металлов на организмы.

Известно, что токсичность тяжелых металлов, в основном, определяется их ингибирующим действием на ферментативную активность. Комплексы ферментов с ионами тяжелых металлов устойчивы, и ингибирование принимает необратимый характер. Так, ионы тяжелых металлов могут образовывать прочные комплексы с аминокислотами и другими биомолекулами, содержащими тио- (SH-) или алкилтиогруппировки (RS-). К типу цистеиновых (содержащих SH-группы цистеина в активном центре) протеиназ относятся кальпаины, или  $\text{Ca}^{2+}$ -зависимые протеолитические ферменты цитозоля. В эксперименте *in vitro* продемонстрировано (Ladrat et al., 2002), что ионы кобальта, никеля, кадмия и ртути вызывают полную инактивацию кальпаинов из тканей рыб. Однако, по всей видимости, механизм взаимодействия ионов металлов с изучаемыми цистеиновыми протеиназами может реализовываться не только за счет SH-групп их активного центра, но и за счет конкуренции этих ионов с кальцием на кальций-зависимых этапах функционирования кальпаинов. Так, способность некоторых металлов (стронция, бария) активировать кальпаины, аналогично кальцию, также была продемонстрирована в эксперименте *in vitro* (Ladrat et al., 2002).

В практике биохимического мониторинга большой интерес представляет изучение свойств и уровня активности  $\text{Ca}^{2+}$ -зависимых протеолитических ферментов при действии тяжелых металлов *in vivo*. Как указывалось выше, SH-группы активного центра кальпаинов могут выполнять роль специфичных лигандов для ионов тяжелых металлов, кроме того, ионы металлов главной подгруппы II группы (стронция, бария) могут замещать кальций – основной регулятор активности кальпаинов.

В ранее проведенных экспериментах нами неоднократно было показано, что внутриклеточные протеолитические ферменты, в том числе кальпаины, играют важную роль в развитии физиолого-биохимической адаптации живых организмов к изменяющимся условиям окружающей среды. Такая адаптация подразумевает не только синтез новых ферментов и белков, обеспечивающих изменившиеся метаболические потребности клетки, но и распад и удаление тех биомолекул, которые больше не нужны для ее нормального функционирования. В ряде случаев изменение свойств и уровня активности протеолитических ферментов имеет адаптивный характер и может свидетельствовать о приспособлении организма к изменяющимся условиям окружающей среды, в других – о развитии тканевой патологии, обычно тесно связанной с нарушением базального уровня внутриклеточного кальция.

Одними из наиболее удобных объектов для изучения влияния ксенобиотиков, в том числе тяжелых металлов, признаны морские беспозвоночные. В сравнении с позвоночными животными многие виды моллюсков обладают слаборазвитой способностью к биотрансформации ксенобиотиков. Важные характеристики мидий как объектов токсикологических исследований – высокая способность к аккумуляции загрязнителей из среды в тканях и сравнительно низкая активность системы цитохрома P 450 (Fung et al., 2004). В настоящей работе изучали активность внутриклеточных  $\text{Ca}^{2+}$ -зависимых протеиназ (кальпаинов) мидий *Mytilus edulis* L. при воздействии ионов тяжелых металлов в экспериментах *in vitro* и *in vivo*. В эксперименте *in vitro* были протестированы металлы, обладающие, согласно литературным данным, сродством к кальпаинам рыб. В условиях аквариального эксперимента моллюски подвергались воздействию кадмия, способного связываться с SH-группами биомолекул, и меди – эссенциального металла, в высоких концентрациях токсичного для организма (Губанов и др., 2008).

## Материалы и методы исследования

Аквариальный эксперимент был выполнен на одноразмерных мидиях *Mytilus edulis* L., отловленных на сублиторали в губе Чупа Кандалакшского залива Белого моря. После акклимации к лабораторным условиям (16-литровые аквариумы с естественным температурным и световым режимом, составом воды и оксигенацией) мидии были разделены на 7 групп, которые подвергали воздействию растворов солей (хлоридов) меди и кадмия (концентрация приведена в пересчете на катион): группа 1 – 5 мкг/л  $\text{Cu}^{2+}$ , группа 2 – 50 мкг/л  $\text{Cu}^{2+}$ , группа 3 – 250 мкг/л  $\text{Cu}^{2+}$ , группа 4 – 10 мкг/л  $\text{Cd}^{2+}$ , группа 5 – 100 мкг/л  $\text{Cd}^{2+}$ , группа 6 – 500 мкг/л  $\text{Cd}^{2+}$ . Контролем служили моллюски, содержащиеся в аквариуме без добавления металлов (группа 7). Экспозиция опыта составила 24 и 72 часа. Из каждой экспериментальной группы отбирали для дальнейшего анализа по 7 особей. Отпрепарированные органы (жабры, гепатопанкреас) хранили при  $-80^\circ\text{C}$  до начала анализа.

Активность кальпаинов определяли во фракциях цитоплазматических белков и микрочастиц (мембраносвязанных белков) (Enns, Belcastro, 2006). Методика позволяет тестировать активность кальпаинов без предварительного гель-хроматографического разделения белков, что важно при работе с малым объемом биологического материала.

Образцы тканей (~ 100 мг) гомогенизировали в 10-кратном объеме 20 mM трис-HCl буфера (pH 7,5) с добавлением 80 mM KCl, 5 mM натриевой соли ЭДТА и 20 mM дитиотреитола (ДТТ). В супернатанте после центрифугирования (20 000 g, 20 мин.) определяли активность кальпаинов (цитозольная фракция). Осадок ресуспендировали в 10 объемах того же буфера с добавлением 0,33% тритона X-100, в супернатанте после повторного центрифугирования в тех же условиях также определяли активность кальпаинов (мембраносвязанная фракция фермента).  $\text{Ca}^{2+}$ -зависимую протеолитическую активность кальпаинов оценивали по гидролизу щелочно-денатурированного казеина. К реакционной смеси (50 mM трис-HCl буфер (pH 7,5), 1 мг/мл казеина, 20 mM ДТТ) добавляли 200 мкл одной из фракций (конечный объем 500 мкл) и 5 mM  $\text{CaCl}_2$  для активации кальпаинов (в контроль – 5 mM ЭДТА). После 30-минутной инкубации при  $28^\circ\text{C}$  отбирали аликвоты 100 мкл, в которых определяли содержание остаточного белка по методу Брэдфорд (Bradford, 1976). Единица активности кальпаинов определялась как количество фермента, вызывающее увеличение на 0,1 оптического поглощения при 595 нм за 1 час инкубации при  $28^\circ\text{C}$ .

Активность кальпаинов при взаимодействии *in vitro* с ионами тяжелых металлов определяли после предварительной гель-хроматографии образцов на колонках с сефакирилом S300, уравновешенным буфером А (10 mM трис-HCl (pH 7,5), 4 mM ЭДТА, 5 mM 2-меркаптоэтанол, 50 mM NaCl). Наносили на колонку экстракты мягкого тела мидий, полученные после гомогенизации и центрифугирования (105 000 g, 60 мин) в буфере А, содержащем 0,25 М сахарозы. Элюцию белков проводили со скоростью 24 мл/ч буфером А. Активность  $\text{Ca}^{2+}$ -зависимых протеиназ во фракциях элюента (4,0 мл) определяли стандартным методом по гидролизу щелочно-денатурированного казеина (Murachi et al, 1981). Реакционная смесь включала 50 mM имидазол-HCl буфера (pH 7,5), 0,4% казеина, 5 mM дитиотреитола, 2,5 mM  $\text{CaCl}_2$ , в контрольные пробы кальций добавляли после инкубации. После инкубации ( $28^\circ\text{C}$ , 30 мин.) реакцию останавливали добавлением равного количества 10% трихлоруксусной кислоты. Концентрацию кислоторастворимых продуктов определяли при 280 нм. Единица активности кальпаинов определялась как количество фермента, вызывающее увеличение на 1,0 оптического поглощения при 280 нм за 1 час инкубации при  $28^\circ\text{C}$  (Murachi et al, 1981).

Для оценки действия различных катионов на активность кальпаинов в обычной реакционной смеси  $\text{CaCl}_2$  заменяли на хлорид исследуемого металла ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ) в конечной концентрации 2,5 mM (контроль – 2,5 mM  $\text{CaCl}_2$ ). Эффект 2,5 mM каждого катиона был также определен в присутствии 2,5 mM  $\text{CaCl}_2$  (контроль – 5 mM  $\text{CaCl}_2$ ).

Результаты исследований были обработаны статистически при помощи непараметрического критерия U (критерий Вилкоксона-Манна-Уитни) (Гублер, Генкин, 1969).

## Результаты и обсуждение

Активность препарата кальпаинов из мягкого тела мидий была измерена в присутствии ионов различных металлов ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ). Эффект, оказываемый различными катионами, варьировал от активации, сродни индуцируемой кальцием, до полного ингибирования. Как показано на рисунке 1,  $\text{Ca}^{2+}$  в концентрации 2,5 mM является наиболее эффективным активатором кальпаинов. Фермент также активируется в присутствии



2,5 мМ Ва<sup>2+</sup> до 70% от уровня активности, индуцированной действием Са<sup>2+</sup>. Ионы Cu<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup> также способны активировать фермент, но в значительно меньшей степени. В присутствии 2,5 мМ Cd<sup>2+</sup>, Co<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup> и Fe<sup>3+</sup> активность фермента не выявлялась. Сочетанное действие Са<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup> приводило к сильному ингибированию кальций-индуцируемой активности, Са<sup>2+</sup> и Cd<sup>2+</sup>, Co<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup> – к полной инактивации.

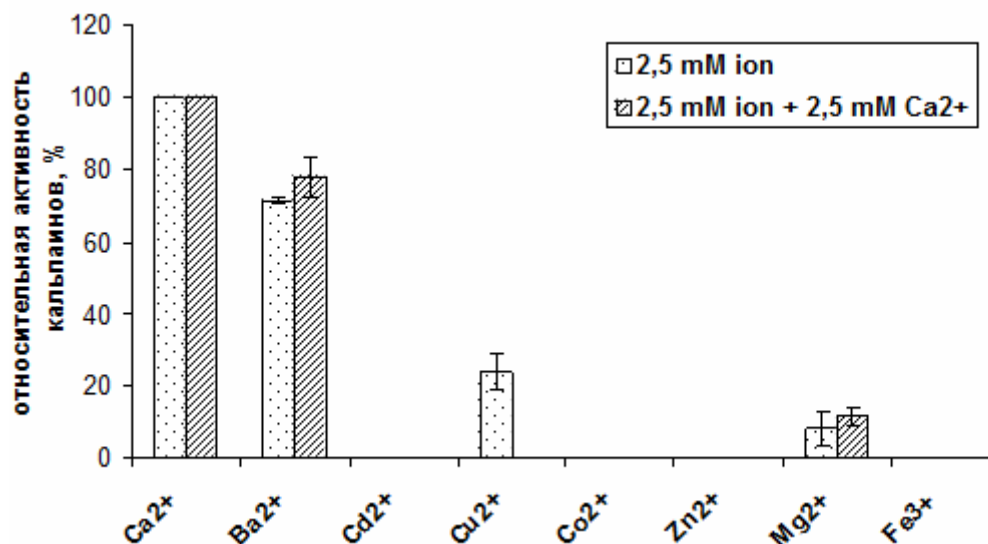


Рис. 1. Относительная активность кальпаинов мягкого тела мидии *Mytilus edulis* L. в присутствии различных катионов

В целом, результаты изучения активности кальпаинов мидий в присутствии различных катионов сходны с данными Ladrat et al. (2002), полученными для m-кальпаина из мышц морского окуня. По данным литературы (Ladrat et al., 2002, Gaitanaki et al., 2003), Ba<sup>2+</sup> и Sr<sup>2+</sup> способны активировать кальпаины, выделенные из тканей разных организмов. Сходная способность катионов Са<sup>2+</sup>, Sr<sup>2+</sup>, Ва<sup>2+</sup> к активации кальпаинов объясняется их структурным родством, на основании которого они объединены в одну группу химических элементов периодической системы. Известно, что повышенная способность стронция к аккумуляции в организме обусловлена замещением Са<sup>2+</sup> в костной и других тканях. Следствием этого является нарушение обмена Са<sup>2+</sup> в организме и нарушение Са<sup>2+</sup>-зависимых регуляторных процессов, что определяет токсическое действие Sr<sup>2+</sup>. Катионы Cd<sup>2+</sup>, Co<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup> и Fe<sup>3+</sup> не способны индуцировать активность кальпаинов мидий, также они подавляют кальций-индуцированную активность кальпаинов, по всей видимости, блокируя SH-группу активного центра фермента.

На рисунках 2 и 3 представлены данные по изменению активности внутриклеточных Са<sup>2+</sup>-зависимых протеиназ в жабрах и гепатопанкреасе мидий при воздействии солей меди и кадмия в эксперименте *in vivo*. Активность кальпаинов в органах изменялась в зависимости от концентрации и времени воздействия металла на организм. Так, по истечении первых суток воздействия меди и кадмия наблюдался более высокий уровень активности кальпаинов в жабрах по сравнению с контролем. Можно предположить, что наблюдаемая активация кальпаинов в жабрах мидий при кратком воздействии тяжелых металлов сопутствует развитию неспецифической компенсаторной реакции, направленной на приспособление организма к высоким концентрациям изучаемых поллютантов в среде. После трех суток воздействия меди и кадмия происходило снижение активности Са<sup>2+</sup>-зависимых протеиназ в жабрах мидий по сравнению с контролем. Согласно литературным данным (Челомин, 1998), в условиях острого эксперимента у мидий наблюдается диспропорция в аккумуляции металлов, в результате которой основная нагрузка ложится на клетки жабр. Вероятно, вследствие этого, суточное воздействие металлов приводит к повышению уровня активности кальпаинов в жабрах мидий, а более длительное (3 суток), предполагающее возможное перераспределение металла в организме, – к снижению.

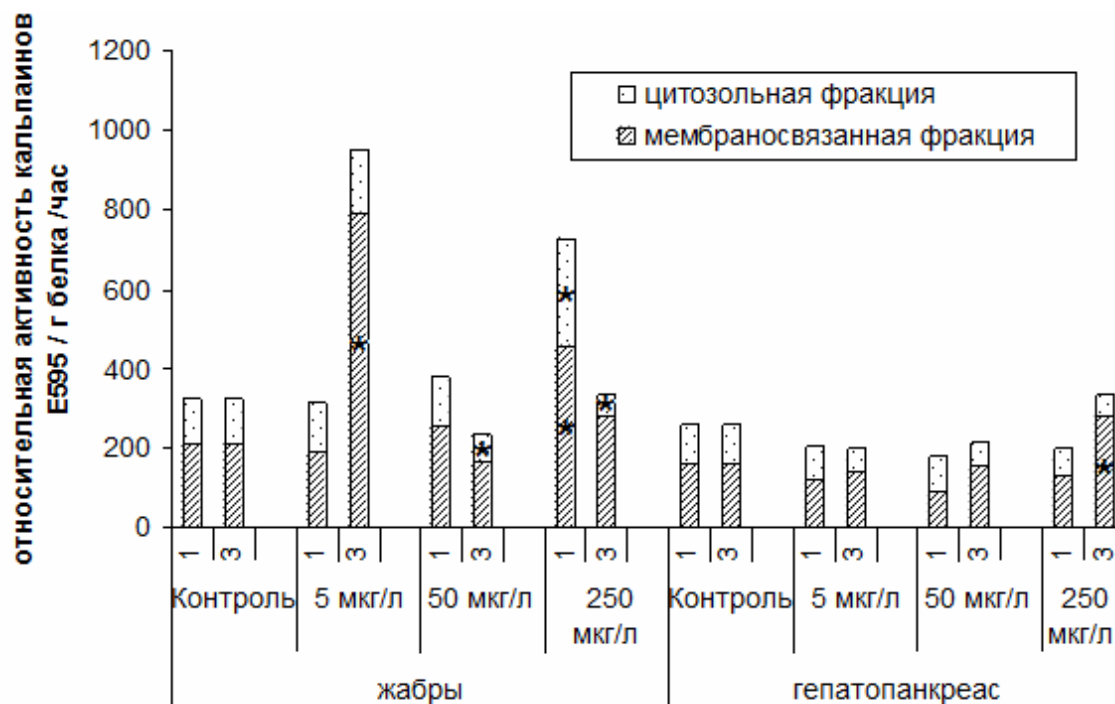


Рис. 2. Относительная активность кальпаинов ( $E_{595}$ /г белка/час) в органах мидии *Mytilus edulis* L. при действии различных концентраций меди (1 – 1 сутки экспозиции, 3 – 3 сутки экспозиции, \* – отличие от контроля достоверно при  $p \leq 0,05$ )

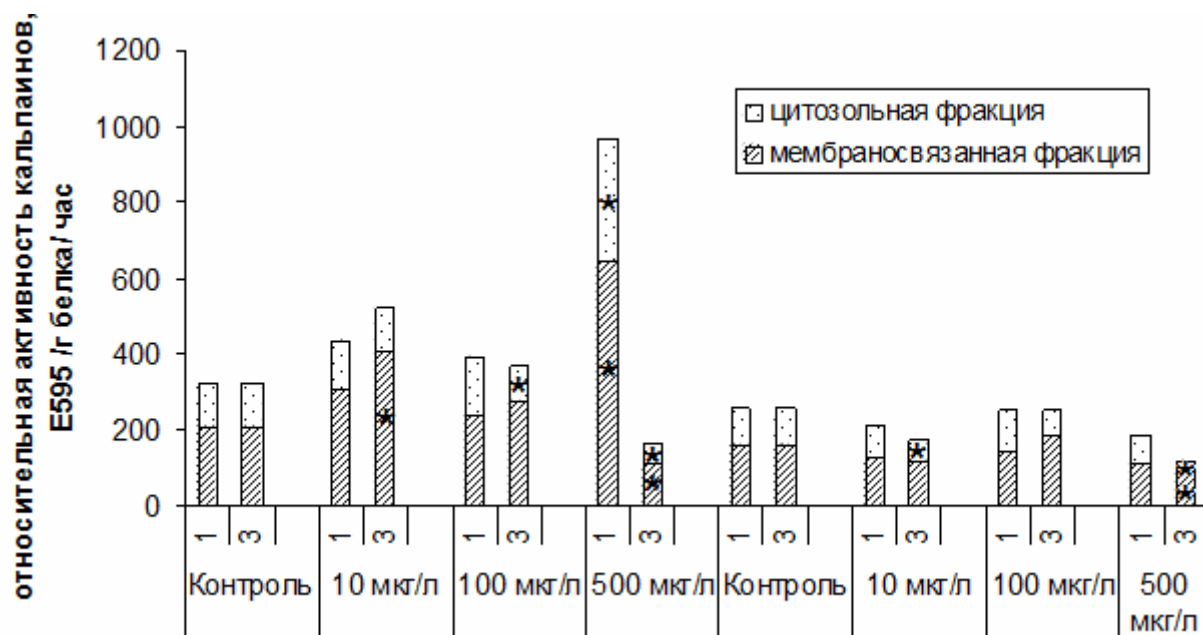


Рис. 3. Относительная активность кальпаинов ( $E_{595}$ /г белка/час) в органах мидии *Mytilus edulis* L. при действии различных концентраций кадмия (1 – 1 сутки экспозиции, 3 – 3 сутки экспозиции, \* – отличие от контроля достоверно при  $p \leq 0,05$ )

Наряду с этим было установлено, что в гепатопанкреасе мидий уровень активности кальпаинов не изменялся при суточном воздействии меди и кадмия всех изученных концентраций; лишь через трое суток наблюдались достоверные отличия  $Ca^{2+}$ -зависимой активности в данном органе. Вероятно, это можно объяснить тем, что к этому времени может начинаться отток металлов от уязвимых тканей (жабры) к тканям, функционально задействованным в детоксикации, аккумуляции и экскреции ксенобиотиков (гепатопанкреас и почки).

Обращает на себя внимание то, что кадмий и медь при трехсуточной экспозиции оказывают противоположное действие на активность кальпаинов в гепатопанкреасе. Подавление активности кальпаинов при действии кадмия, вероятно, можно объяснить его способностью ингибировать биомолекулы за счет специфичного связывания с их реакционными SH-группами. Следовательно, можно предположить, что при такой длительности воздействия аккумулированный из среды металл не только проник во внутреннюю среду организма, но и достиг субклеточных структур. Что касается меди, то известна важная роль этого металла в процессах дыхания беспозвоночных как компонента дыхательного пигмента крови – гемоцианина, при этом медь является вторым по степени накопления тяжелым металлом в жабрах (Андроников и др., 2002). Можно предположить, что при перераспределении в организме меди, поступившей из среды, большая ее часть задерживается в жабрах, а в гепатопанкреас поступает незначительная доза, способная индуцировать репаративные и экскреторные процессы, о чем можно судить по наблюдаемой активации кальпаинов после трехсуточного воздействия меди в самой высокой из изученных концентраций (250 мкг/л).

### Заключение

В экспериментах *in vitro* и *in vivo* было протестировано действие катионов двух- и трехвалентных металлов на активность протеиназ семейства кальпаинов из тканей мидий. Полученные данные свидетельствуют о том, что механизм специфичного взаимодействия тяжелых металлов с изучаемыми цистеиновыми протеиназами может реализовываться как за счет блокирования SH-групп их активного центра, так и за счет замещения их активатора (кальция) на кальций-зависимых этапах функционирования кальпаинов. Обнаружено инактивирующее действие катионов кадмия, кобальта, цинка и железа (III) на частично очищенный кальпаин мидий, однако, некоторые металлы (барий), аналогично кальцию, способны активировать кальпаины.

Установлено, что при опосредованном влиянии ионов меди и кадмия, растворенных в среде, на кальпаины в органах мидий, их активность зависит от концентрации металла, времени воздействия и природы действующего металла, определяющей специфичность его действия, динамику аккумуляции и перераспределения в организме.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 08-04-01140-а, Программы Президента РФ «Ведущие научные школы» НШ-306.2008.4 и проекта Программы Президиума РАН «Биологическое разнообразие».

### Литература

- Андроников В. Б., Коротнева Н. В., Пашкова И. М., 2002. Содержание тяжелых металлов в различных тканях кальмара *Illex illecebrosus* // Экологическая химия. № 11(1). С. 40–44.
- Губанов В. И., Болтачев А. Р., Копытов Ю. П., 2008. Состояние загрязнения донных отложений Феодосийского залива нефтяными углеводородами и тяжелыми металлами // Экология моря. Вып. 75. С. 89–93.
- Гублер Е. В., Генкин А. А., 1969 Применение критериев непараметрической статистики для оценки различий двух групп наблюдений в медико-биологических исследованиях. М.: Медицина, 1969. 125 с.
- Челомин В. П., Бельчева Н. Н., Захарцев М. В., 1998. Биохимические адаптации мидии *Mytilus trossulus* к ионам кадмия и меди // Биология моря. Т. 24. № 5. С. 319–325.
- Bradford M. M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding // Anal. Biochem. № 72. P. 248–254.
- Enns D. L., Belcastro A. N., 2006. Early activation and redistribution of calpain activity in skeletal muscle during hindlimb unweighting and reweighting // Can. J. Physiol. Pharmacol. № 84. P. 601–609.
- Gaitanaki C., Papazafiri P., Beis I., 2003. The calpain-calpastatin system and the calcium paradox in the isolated perfused pigeon heart // Cell Physiol Biochem. № 13(3). P. 173–180.
- Ladrat C., Verrez-Bagnis V., Noel J., Fleurence J., 2000. Milli-calpain from sea bass (*Dicentrarchus labrax*) white muscle: purification, characterization of its activity and activation in vitro // Comp. Biochem. Physiol. Vol. 125. № 1. P. 83–95.
- Murachi T., Hatanaka M., Yasumoto Y., Tanaka K., 1981. A quantitative distribution study on calpain and calpastatin in rat tissues and cells // Biochem. Int. Vol. 2 (6). P. 651–656.
- Fung C. N., Lam J. C. W., Zheng G. J., Connell D. W., Monirith I., Tanabe S., Richardson B. J., Lam P. K. S., 2004. Mussel-based monitoring of trace metal and organic contaminants along the east coast of China using *Perna viridis* and *Mytilus edulis* // Environ. Poll. Vol. 127. P. 203–216.

## THE EFFECT OF HEAVY METAL IONS ON INTRACELLULAR $\text{Ca}^{2+}$ -DEPENDENT PROTEINASES IN *MYTILUS EDULIS* L. IN THE EXPERIMENTS *IN VITRO* AND *IN VIVO*

N. P. Kantserova, L. A. Lysenko, N. N. Nemova, V. V. Ostashkova

<sup>1</sup> Institute of Biology Karelian Research Centre RAS, Petrozavodsk, Russia

<sup>2</sup> Petrozavodsk State University, Petrozavodsk  
e-mail: nkantserova@yandex.ru

The effect of heavy metal ions on intracellular  $\text{Ca}^{2+}$ -dependent proteinases (calpains) of mussels, *Mytilus edulis* L., has been investigated *in vitro* and *in vivo*. Mechanism of action of heavy metal ions with calpain can be realized by binding with SH-group of the enzyme or by replacement of  $\text{Ca}^{2+}$  in  $\text{Ca}^{2+}$ -dependent processes. Some heavy metal ions ( $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ) has been found to be ineffective for the activation of mussel calpain *in vitro*, while  $\text{Ba}^{2+}$  has been found to be able to activate the enzyme. In aquaria experiment was shown that the effect of  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Cd}^{2+}$  on calpain activity depends on concentration of ion, time of action and metal properties defining its specificity and the accumulation and redistribution dynamics in the organs.

## ТЕРМОПРЕФЕРЕНДУМ МОЛОДИ КАРПОВЫХ И ОКУНЕВЫХ ВИДОВ РЫБ ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ

Д.С. Капшай<sup>1</sup>, В.К. Голованов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, г. Ярославль, Россия

<sup>2</sup> Учреждение Российской академии наук Институт биологии внутренних вод  
им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Ярославская обл.  
e-mail: kapsh@ibiw.yaroslavl.ru, golovan@ibiw.yaroslavl.ru

В процессе прохождения сезонных жизненных циклов рыбы используют различные формы температурных адаптаций, такие как температурная акклимация, терморегуляционное поведение, адаптации к предельно высоким и низким температурам, а также «зимнюю спячку» (Голованов и др., 1997). Терморегуляционное поведение представляет собой широко распространенную форму температурной адаптации и заключается в самопроизвольном выборе, возможно, наиболее оптимальных условий окружающей водной среды в зависимости от сезона года, времени суток, возраста животных и их физиолого-биохимического статуса. В результате многочисленных наблюдений в естественных условиях, а также в ходе лабораторных экспериментов само явление выбора новых температурных зон, отличных от температуры предварительной акклимации, получило название термопреферендума. Процесс выбора имеет фазный характер (Голованов, 1996; Лапкин и др., 1981; Свирский, 1996; Golovanov, 2006; Reynolds, Casterlin, 1979). Вначале (минуты, часы, сутки) происходит перемещение животных из исходных температурных условий в более высокие или низкие (в зависимости от того, на каком уровне температурного диапазона жизнедеятельности находились особи). Затем, достаточно часто с явлением «овершута» вверх или вниз, рыбы достигают области так называемого конечного термопреферендума или конечных избираемых температур. После этого избираемые температуры стабилизируются, иногда возникают периодические колебания избираемых уровней выше или ниже оптимальных. Меняющиеся условия среды (отсутствие корма, присутствие хищников, различного рода инфекции и др.) приводят к изменению уровня конечного термопреферендума.

Непосредственно зона конечных избираемых температур достаточно часто совпадает с областью эколого-физиологического оптимума, отражая тем самым оптимальные условия развития, роста, питания и поведения молоди и взрослых рыб (Golovanov, 2006; Jobling, 1981). С учетом существующих и развивающихся представлений об оптимальности (Вербицкий, 2008; Зданович, 2001; Константинов и др., 1991; Golovanov, 2006) эколого-физиологический оптимум не выглядит чем-то жестким и консервативным, расположенным только в одном месте на температурной шкале жизнедеятельности. Это подтверждают и многочисленные исследования суточных вертикальных миграций рыб. В ходе их было установлено, что отдельные группировки одного и того же вида могут совершать миграции в толще воды в широком диапазоне температур как ниже, так и выше оптималь-

ных для их жизнедеятельности сравнительно с экспериментальными данными в лаборатории (Малинин и др., 1996; Brett, 1971).

Цель настоящей работы – оценить конечные избираемые температуры у молоди карповых и окуневых видов рыб, обитающих в Рыбинском водохранилище, а также в водохранилищах и других водоемах Верхней Волги.

Для получения сводки данных использованы собственные экспериментальные данные, полученные в многолетних исследованиях, в том числе неопубликованные ранее, кроме того – известные литературные материалы. Вместе с тем, для сравнения приводится ряд экспериментальных данных по видам-вселенцам, а также видам, не обитающим непосредственно в Рыбинском водохранилище (радужная форель, пелядь, сибирский осетр, стерлядь и др.).

Эксперименты проводились в условиях естественного фотопериода в течение летнего сезона года. Установки представляли собой горизонтальные термоградиентные лотки из оргстекла размерами 300×20×15 см, 400×35×15 см и 1000×50×50 см. Горизонтальный градиент температур создавался посредством нагрева (терморегулятор) и охлаждения (регулирующее устройство и холодильные агрегаты ВС-1.1 или ВС-1.5). Первые две установки были разделены на 10–12 камер с полуперегородками и аэрацией в каждом отсеке у дна, что позволяло создавать градиент температур с разностью на концах установок 20–25°C. Продолжительность каждого отдельного опыта составляла от 8 до 15 суток. Количество рыб в установке варьировало (в зависимости от размера особей) от 6 до 30 экз. Питание рыб производили дважды в сутки живым кормом, комбикормом или сухой дафнией. Избираемые температуры определялись 6–8 раз в сутки, далее определялись средние избираемые температуры за сутки, динамика выбора температур и конечная избираемая температура на стабильном участке выбора (после 4–8 суток пребывания в градиенте температур). Более подробно методика определения избираемых и конечных избираемых температур описана ранее (Голованов, Валтонен, 2000; Лапкин и др., 1979; Свирский, 1996 и др.). Данные по конечным избираемым температурам молоди (сеголетков и годовиков) рыб в летний сезон года приведены в таблице. Ориентировочный возраст экспериментальных особей – пескаря, гольца и 2 видов-вселенцев, бычка-кругляка и бычка-цуцика  $\approx 1+$  –  $2+$ .

Анализ данных позволяет сделать некоторые заключения. В пределах всего температурного диапазона жизнедеятельности пресноводных рыб от 0 до 43.4°C, как следует из таблицы, молодь рыб, обитающих в бассейне Верхней Волги, в экспериментальных условиях предпочитает в летний сезон года температурный интервал от 12 до 31°C. Наименьшие оптимумы отмечены у корюшки – 12–13°C, несколько более высокие КИТ – у налима (14–16°C), пеляди (16–18°C) и у представителя семейства вьюновых – гольца (15.1°C), возраст которого чуть выше. Если для первых трех видов, как холодолюбивых рыб, это (в сравнении с лососевыми, например, радужной форелью – 14–17°C) вполне объяснимо, то для гольца подобная избираемая низкая температура существенно ниже, чем у другого представителя этого же семейства, вьюна – 25°C.

Такие виды, как щука (КИТ = 24°C), сибирский осетр (КИТ = 20.8–22.7°C), стерлядь (КИТ = 23.6°C) и два вида-вселенца, бычок-цуцик и бычок-головач (у обоих КИТ = 22.4°C) в несколько более старшем возрасте, а также единственный представитель карповых с низкими избираемыми температурами – пескарь (20.4°C) в возрасте ориентировочно  $\approx 1+$  –  $2+$  представляют собой группу видов, которые предпочитают оптимум несколько выше холодолюбивых рыб, упомянутых ранее.

Молодь окуневых видов – речного окуня, ерша и судака – еще более теплолюбивы, а их КИТ расположены в диапазоне от 22 до 26°C (несколько выше у окуня, возможно, ниже – у ерша и судака).

Наиболее исследована молодь карповых видов рыб, 10 представителей этого семейства. За исключением пескаря, о котором уже упоминалось, как о наиболее холодолюбивом карповом виде, все остальные виды предпочитают оптимальные условия существенно выше, от 23 до 31°C. Наблюдается тенденция повышения КИТ в ряду: плотва – язь – лещ – уклейка – густера – карась серебряный – синец – карась золотой – карп (сазан). Наиболее теплолюбивым видом оказался карп, имеющий происхождение из вод юго-восточной Азии (Golovanov, 2006).

**Конечные избираемые температуры (КИТ) у молоди различных видов рыб  
из Рыбинского водохранилища в сравнении с другими видами**

Вид рыбы	Возраст	КИТ, °C
<b>Сем. Карповые – Cyprinidae</b>		
Сазан (кап), <i>Cyprinus carpio</i> (L.)	С, Г	29–31.0
Карась золотой, <i>Carassius carassius</i> (L.)	С, Г	28–29.0
Карась серебряный, <i>Carassius auratus</i> (L.)	С, Г	27–28.0
Синец, <i>Abramis ballerus</i> (L.)	С, Г	27–29.0
Лещ, <i>Abramis brama</i> (L.)	С, Г	27.0
Густера, <i>Blicca bjoerkna</i> (L.)	С, Г	26–28.0
Язь, <i>Leuciscus idus</i> (L.)	С, Г	26–27.0
Плотва, <i>Rutilus rutilus</i> (L.)	С, Г	23–26.0
Уклейка, <i>Alburnus alburnus</i> (L.)	С, Г	26–28.0
Пескарь, <i>Gobio gobio</i> (L.) <sup>1</sup>	≈ 1+ – 2+	20.4
<b>Сем. Окуневые – Percidae</b>		
Речной окунь, <i>Perca fluviatilis</i> L. <sup>2</sup>	С, Г	25.2–25.8
Ерш, <i>Gymnocephalus cernuus</i> (L.)	С, Г	24–26.0
Судак, <i>Stizostedion volgensis</i> (Gmelin)	С	22–26.0
<b>Сем. Вьюновые – Gobitidae</b>		
Вьюн, <i>Misgurnus fossilis</i> (L.)	Г	25.0
Голец, <i>Noemacheilus barbatulus</i> (L.) <sup>1</sup>	≈ 1+ – 2+	15.1
<b>Сем. Щуковые – Esocidae</b>		
Щука, <i>Esox lucius</i> L. <sup>3</sup>	С	24.0
<b>Сем. Осетровые – Acipenseridae</b>		
Сибирский осетр, <i>Acipenser baeri</i> Brandt	С	20.8–22.7
Стерлядь, <i>Acipenser ruthenus</i> (L.) <sup>4</sup>	С	23.6
<b>Сем. Бычковые – Gobiidae</b>		
Бычок-головач, <i>Neogobius kessleri</i> (Günther) <sup>1</sup>	≈ 1+ – 2+	22.4
Бычок-пучик, <i>Proterorhinus marmoratus</i> (Pallas) <sup>1</sup>	≈ 1+ – 2+	22.4
<b>Сем. Сиговые – Coregonidae</b>		
Пелядь, <i>Coregonus peled</i> (Gmelin)	С	16–18.0
<b>Сем. Корюшковые – Osmeridae</b>		
Корюшка, <i>Osmerus eperlanus</i> (L.) <sup>5</sup>	Г	12–13.0
<b>Сем. Лососевые – Salmonidae</b>		
Радужная форель, <i>Oncorhynchus mykiss</i> Walbaum	С	14–17.0
<b>Сем. Тресковые – Gadidae</b>		
Налим, <i>Lota lota</i> (L.)	С	14–16.0

*Примечание.* С – сеголетки, Г – годовики. Все данные приведены по результатам собственных экспериментов, проведенных в различные годы. Ссылки на дополнительные литературные источники: 1 – Вербицкий и др., 2005; 2 – Свирский, Лапкин, 1987; 3 – Свирский, Обухова, 1999; 4 – Смирнов, 2009; 5 – Иванова, Лапкин, 1982.

Таким образом, как это показано на примере молоди карповых, окуневых и других, взятых для сравнения видов, каждый исследованный вид по показателям эколого-физиологического оптимума или КИТ занимает свою определенную «термальную нишу» (Golovanov, 2006; Magnuson et al., 1979). Если судить по температурам поверхностного слоя воды в Рыбинском водохранилище в июне, июле и августе – от 14 до 22.5°C (Голованов и др., 1997), большинство карповых и окуневых видов имеет оптимальные температурные зоны, превышающие температуры естественной среды. Тем не менее, следует учитывать, что на мелководьях Рыбинского водохранилища, других водохранилищ Верхней Волги и водоемах региона в июле-августе достаточно часты продолжительные жаркие периоды, в течение которых температуры воды могут достигать уровня в 30°C и даже превышать его. Кроме того, существенное значение имеет и тот факт, насколько ближе к экспериментально определенным оптимальным условиям развития, роста и питания расположены температуры, в которых непосредственно происходят данные процессы у молоди рыб в естественных условиях. Немаловажно, что в регионе расположено несколько сбросов подогретой воды в районе Конаковской ГРЭС (Иваньковское водохранилище), Череповецкого металлургического комбината (Рыбинское водохранилище) и Костромской ГРЭС (Горьковское водохранилище). В зоне этих сбросов температуры воды в летний сезон года часто превышают порог в 30°C. Известно, что именно эти, более прогретые воды, привлекают молодь многих видов рыб, преимущественно карповых и окуневых, обеспечивая повышенный рост и благоприятные условия питания (Голованов и др., 2005).

Выполненная работа и приведенная сводка данных могут быть полезны экологам, ихтиологам и гидробиологам, а также практикам рыбного хозяйства. В сравнении с другими периодами онтогенеза, у молоди рыб – сеголетков, годовиков и двухлетков – отмечены максимальные показатели температур эколого-физиологического оптимума и КИТ. Разработка критериев, определяющих нормы сброса подогретой воды тепловых и атомных электростанций, число которых планируется увеличивать; оценка влияния климатических изменений и температурного режима вод применительно к гидробионтам при зарегулировании стока рек; возможность использования обширных мелководий водохранилищ для подрачивания молоди различных видов рыб – только примерный перечень вопросов, при решении которых настоящие данные могут быть востребованы. Кроме того, приведенные количественные данные могут служить исходной информацией при решении теоретических вопросов, связанных с проблемами сохранения и мониторинга биологических ресурсов.

*Работа выполнена в рамках Программы ОБН РАН «Биологические ресурсы России».*

### Литература

Малинин Л.К., Базаров М.И., Голованов В.К., Линник В.Д. 1996. Влияние температуры воды на диапазон суточных вертикальных миграций рыб // Пове́дение и распределение рыб. Докл. 2-го Всерос. совещ. «Поведение рыб». Борок. С. 103–118.

Вербицкий В.Б. 2008. Понятие экологического оптимума и его определение у пресноводных пойкилотермных животных // Ж. общ. биол. Т. 69. № 1. С. 44–56.

Вербицкий В.Б., Гибенко И.В., Свирский А.М. 2005. Окончательно избираемые температуры каспийских рыб-вселенцев (бычков головача и щуки) в сравнении с двумя аборигенными видами (пескарем и гольцом) // Пове́дение рыб. Материалы докладов Международной конф. 1–4 ноября 2005 г. Борок, Россия. М: АКВАРОС. С. 58–62.

Голованов В.К. 1996. Эколого-физиологические аспекты терморегуляционного поведения пресноводных рыб // Пове́дение и распределение рыб. Докл. 2-го Всерос. совещ. «Поведение рыб». Борок. С. 16–40.

Голованов В.К., Смирнов А.К., Болдаков А.М. 2005. Воздействие термального загрязнения водохранилищ Верхней Волги на рыбное население: современное состояние и перспективы // Актуальные проблемы рационального использования биологических ресурсов водохранилищ. Рыбинск: Изд-во ОАО «Рыбинский Дом печати». С. 59–81.

Голованов В.К., Валтонен Т. 2000. Изменчивость термоадаптационных свойств радужной форели *Oncorhynchus mykiss* Walbaum в онтогенезе // Биол. внутр. вод. № 2. С. 106–115.

Голованов В.К., Гречанов И.Г., Маврин А.С., Обухова В.М. Термопреферендум сибирского осетра *Acipenser baeri* Brandt // Тез. докл. Международн. конф. «Осетровые на рубеже XXI века», Астрахань. Изд-во КаспНИРХ. 2000 г. С. 136–138.

Голованов В.К., Свирский А.М., Извеков Е.И. 1997. Температурные требования рыб Рыбинского водохранилища и их реализация в естественных условиях // Современное состояние рыбных запасов Рыбинского водохранилища. Ярославль: ЯрГТУ. С. 92–116.

Зданович В.В. 2001. Некоторые особенности термопреферендного поведения молоди рыб, акклиматизированной к постоянным и переменным температурам // Вопр. ихтиол. Т. 41. № 5. С. 686–690.

Иванова М.Н., Лапкин В.В. 1982. Влияние температуры на жизнедеятельность и распределение пресноводной корюшки в водоемах // Биол. внутр. вод.: Информ. бюлл. № 55. Л.: Наука. С. 37–41.

Константинов А.С., Зданович В.В., Шолохов А.М. 1991. Астатичность температурных условий как фактор оптимизации роста, энергетики и физиологического состояния молоди рыб // Вестн. Московск. ун-та. Сер. 16. Биол. № 2. С. 38–44.

Лапкин В.В., Сопов Ю.Н., Свирский А.М. 1979. Избираемая температура и температура акклиматизации рыб // Зоол. журн. Т. 58. Вып. 11. С. 1659–1670.

Свирский А.М. 1996. Поведение рыб в гетеротермальных условиях // Пове́дение и распределение рыб. Докл. 2-го Всерос. совещ. «Поведение рыб». Борок. С. 140–152.

Свирский А.М., Лапкин В.В. 1987. Сезонная и возрастная изменчивость избираемых температур у рыб Рыбинского водохранилища: 1. Окунь (*Perca fluviatilis* L.) // Биол. внутр. вод.: Информ. бюлл. № 76. Л.: Наука. С. 45–49.

Свирский А.М., Обухова В.М. Терморегуляционное поведение сеголеток щуки *Esox lucius* L. // Экологическая физиология и биохимия рыб. Т. II. Тез. докл. IX Всерос. Конф. Ярославль, 2000. С. 129–130.

Смирнов А.К. 2009. Избираемая температура молоди стерляди *Acipenser ruthenus* L. // Материалы XXVIII Международн. конф. «Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера». Петрозаводск.

Brett J.R. 1971. Energetic responses of salmon to temperature. A study of some thermal relations in the physiology and freshwater ecology of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) // Amer. Zool. V. 1. № 11. P. 99–113.

Golovanov V.K. 2006. The ecological and evolutionary aspects of thermoregulation behavior of fish // Journal of Ichthyology. Vol. 46. Suppl. 2. P. S180–S187.

Jobling M. 1981. Temperature tolerance and the final preferendum – rapid methods for the assessment of optimum growth temperature // J. Fish. Biol. Vol. 19. № 4. P. 439–455.

Magnuson J.J., Crowder L.B., Medvick P.A. 1979. Temperature as an ecological resource // Amer. Zool. Vol. 19, № 1. P. 331–343.

Reynolds W.W., Casterlin M.E. 1979. Behavioral thermoregulation and the «final preferendum» paradigm // Amer. Zool. V. 19. № 1. P. 211–224.

## **THERMOPREFERENDUM OF YOUNG CYPRINIDS AND PERCIDS FISHES AND OTHER SPECIES FROM UPPER VOLGA REGION**

**D.S. Kapshay<sup>1</sup>, V.K. Golovanov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl

<sup>2</sup>Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Yaroslavl reg., Russia

e-mail: kapsh@ibiw.yaroslavl.ru, golovan@ibiw.yaroslavl.ru

The final preferred temperatures of young cyprinids and percids, also other species of fishes from Rybinsk reservoir and other reservoirs of Upper Volga are estimated. For more complete picture of fish thermopreference characteristics the experimental data on species – invaders and species which are not living in Rybinsk reservoir (rainbow trout, siberian sturgeon, sterlet etc.) are resulted. Every investigated specie on parameters of an ecological-physiological optimum or final thermopreferendum occupies certain «thermal niche». The analysis of the data has shown, that the young of fishes living in region of Upper Volga, in experimental conditions selected temperature interval from 12 up to 31°C. The least optimum preferred in summer season of year are marked at smelt, burbot, peled and loach (12–18°C). A pike, siberian sturgeon, sterlet and gudgeon represent group of species, which selected an optimum a little bit above of coldwaters fishes (20.4–24°C). The young of percids species – river perch, ruffe and zander – even more warmwater, and their final thermopreferendum are located in a range from 22 up to 26°C. The young of cyprinids fishes – bream, roach, blue bream, goldfish and carp – preferred optimum thermal conditions much above, from 23 up to 31°C.

## **ПАРАЗИТОФАУНА ЕВРОПЕЙСКОЙ КОРЮШКИ *OSMERUS EPERLANUS* НЕКОТОРЫХ ИЗОЛИРОВАННЫХ ОЗЕРНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ СЕВЕРО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ**

**А.Б. Карасев<sup>1</sup>, С.В. Пономарев<sup>1</sup>, О.С. Еременко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Полярный научно-исследовательский морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича (ПИНРО), г. Мурманск,

<sup>2</sup>Мурманский государственный технический университет (МГТУ), г. Мурманск  
e-mail: paralab@pinro.ru

Европейская корюшка – прибрежная проходная рыба. Изолированные озерные популяции обитают в районах Скандинавии и европейской части России. Корюшка служит важным кормовым объектом для ценных хищных рыб и является также объектом массового любительского и промышленного лова. Исходя из этих соображений, во вновь созданное Верхнетуломское водохранилище (Мурманская область, бассейн Баренцева моря) в период с 1979 по 1985 годы было выпущено 258,8 млн. шт. личинок мелкой онежской корюшки, которая успешно натурализовалась в данном водоеме (Неличик, 1998). Экологические особенности интродуцированной корюшки по паразитологическим данным были изучены В.К. Митеневым, А.Б. Карасевым и С.В. Пономаревым (2007).

Ранее паразитофауна корюшки была изучена в естественных водоемах Карелии – озера Ладожское, Онежское и Пяозеро (Румянцев, 2007) и Кольского полуострова – озера Ковдозеро/Княжегубское водохранилище, Имандра и Колвицкое (Митенев, 1997).

Цель настоящей работы – провести сравнительный анализ паразитофауны европейской корюшки *Osmerus eperlanus*, интродуцированной в Верхнетуломское водохранилище (ВТВ), паразито-



фауны корюшки Онежского озера (материнский водоем) и естественных водоемов Кольского полуострова.

Материалом для настоящей работы послужили результаты паразитологических исследований за период с 2003 по 2008 годы. Методом полного паразитологического вскрытия (Быховская-Павловская, 1985) исследовано 132 экземпляра корюшки-вселенца. Методом неполного паразитологического вскрытия исследован 41 экземпляр.

Отлов рыбы проводился в ВТВ ежегодно в период с января по май. В целом, за весь период исследований корюшка была представлена особями длиной 15–25 см, в возрасте 2–8 лет, в основном 4–6 лет. Масса исследованной корюшки составила от 18 до 55 г.

У корюшки-вселенца в ВТВ установлено 6 видов паразитов, относящихся к 4 таксономическим группам: Cestoda – 1, Trematoda – 3, Acanthocephala – 1, Hirudinea – 1. Видовой состав паразитов корюшки в разные годы представлен в таблице 1.

Таблица 1

Паразитофауна корюшки-вселенца в ВТВ в разные годы

Паразит	Локализация	Экстенсивность заражения, %	Интенсивность заражения, экз.		Индекс обилия
			Мин.	Макс.	
2003 год					
<i>Diphylobotrium ditremum</i>	Стенка желудка	100	1	115	36,1
<i>Diplostomum volvens</i>	Пигментный эпителий глаза	93,3	1	80	13,8
<i>Ichthyocotylurus erraticus</i>	Почки, сердце,	6,6	4	4	0,3
<i>Piscicola geometra</i>	Поверхность тела	6,6	1	1	0,1
2004 год					
<i>Diphylobotrium ditremum</i>	Стенка желудка	100	2	158	38,3
<i>Diplostomum volvens</i>	Пигментный эпителий глаза	86,7	1	12	3,6
2005 год					
<i>Diphylobotrium ditremum</i>	Стенка желудка	100	3	66	35,2
<i>Diplostomum volvens</i>	Пигментный эпителий глаза	72,6	2	34	8,2
<i>Tylodelphys clavata</i>	Пигментный эпителий глаза	6,6	4	4	0,3
2006 год					
<i>Diphylobotrium ditremum</i>	Стенка желудка	100	6	157	52,7
<i>Diplostomum volvens</i>	Пигментный эпителий глаза	100	1	23	7,3
<i>Neoechinorhynchus rutili</i>	Кишечник	13,3	2	3	0,3
2007 год					
<i>Diphylobotrium ditremum</i>	Стенка желудка	100	3	164	55,9
<i>Diplostomum volvens</i>	Пигментный эпителий глаза	100	1	35	10,3
2008 год					
<i>Diphylobotrium ditremum</i>	Стенка желудка	100	9	131	44,8
<i>Diplostomum volvens</i>	Пигментный эпителий глаза	100	5	140	34,1

Основными паразитами корюшки в ВТВ являются *Diphylobotrium ditremum*, зараженность которым, на протяжении всех лет наблюдений, составляет 100 % при индексе обилия от 35,2 до 55,9 и *Diplostomum volvens*, экстенсивность заражения которым колеблется в разные годы от 86,7 % до 100 % при индексе обилия от 3,6 до 34,1. Обнаружения *Tylodelphys clavata* (2005 год), *Ichthyocotylurus erraticus* (2003 год), *Neoechinorhynchus rutili* (2006 год), *Piscicola geometra* (2003 год), по всей вероятности, случайны.

По собственным и литературным данным выявлен видовой состав паразитов корюшки-вселенца в ВТВ, аборигенных форм в материнском водоеме (оз. Онежское) и трех естественных водоемах Мурманской области (озера Ковдозеро, Имандра и Колвицкое). Суммарно в пяти водоемах у корюшки известно 38 видов паразитов, относящихся к 9 таксономическим группам: Protozoa – 6,

Monogenoidea – 1, Cestoda – 7, Trematoda – 9, Nematoda – 5, Acanthocephala – 5, Hirudinea – 1, Mollusca – 1, Crustacea – 3.

В сравниваемых естественных водоемах выделено «ядро» паразитофауны корюшки, которое представлено тремя видами – *Ichthyocotylurus erraticus* mtc., *Cystidicola farionis* и *Metechynorhynchus salmonis*.

Наиболее разнообразна и богата фауна паразитов корюшки в Онежском озере, где у этого хозяина, в дополнение к «ядру», отмечено еще 22 вида – *Glugea hertwigi*, *Pleistophora ladogensis*, *Eimeria osmeri*, *Capriniana piscicum*, *Trichodina pediculus*, *Tripertiella copiosa*, *Gyrodactylus osmeri*, *Triaenophorus nodulosus* pl., *Eubothrium salvelini*, *Diphyllobotrium ditremum* pl., *Proteocephalus tetrastomus*, *Diplostomum gasterostei* mtc., *D. spathaceum* mtc., *D. chromatophorum* mtc., *Tylodelphys clavata*, *Capillaria salvelini*, *Camallanus lacustris*, *C. truncatus*, *Echinorhynchus borealis*, *Glochidia* sp., *Calidus lacustris*, *Unionidae* gen. sp. (Румянцев, 2007).

Своеобразна и проявляет наибольшее сходство паразитофауна аборигенной корюшки из озер Ковдозеро и Имандра. Однако, из четырех сравниваемых водоемов, только в оз. Ковдозеро у корюшки встречается *Diphyllobotrium latum* pl., *Diplostomum volvens* mtc., *Acanthocephalus lucii* и *Ergasilus sieboldi*. Только в оз. Имандра – *Diplostomum rutili* и *Philonema sibirica* (Митенев, 1997). Наиболее «банальна» паразитофауна корюшки оз. Колвицкое, у которой отмечены виды, встречающиеся во всех водоемах Кольского полуострова, за исключением единичной находки *Scyphidia* sp.

Паразитофауна вселенца в ВТВ чрезвычайно бедна. Здесь, новый для местной ихтиофауны вид, занял нишу промежуточного хозяина для цестоды *D. ditremum* и трематоды *D. volvens*. В результате численность этих свойственных для местной ряпушки и сига паразитов резко возросла.

Таким образом, проведенный сравнительный анализ показывает значительные эколого-паразитологические различия жилых форм и интродуцированной корюшки, которая, как было показано ранее (Митенев, Карасев, Пономарев, 2007), в ВТВ перешла на хищничество.

Эти различия наглядно иллюстрирует матрица мер сходства паразитофауны корюшки (табл. 2), построенная на основе коэффициента Сёренсена-Чекановского (Песенко, 1982).

Наибольшее сходство паразитофауны корюшки показывают между собой водоемы Кольского полуострова. К ним близка по составу паразитофауны корюшка Онежского озера. Совершенно обеднена паразитофауна корюшки-вселенца ВТВ.

Таблица 2

Матрица мер сходства паразитофауны корюшки в 5 водоемах Северо-Запада России

Водоемы	Оз. Онежское	Оз. Ковдозеро	Оз. Имандра	Оз. Колвицкое
Оз.Ковдозеро	17,14			
Оз. Имандра	23,53	<b>60,87</b>		
Оз.Колвицкое	7,14	<b>47,06</b>	<b>50,00</b>	
ВТВ	6,90	22,22	11,76	18,18

Полученные данные подтверждают общие закономерности изменений паразитофауны рыб при их интродукции и последующей акклиматизации, установленные В. А. Догелем (1938, 1939). Не имея родственных рыб в заселяемом водоеме, у корюшки-вселенца наблюдается общее обеднение паразитофауны по сравнению с материнским водоемом (Онежское озеро) и естественными озерами Кольского полуострова (оз. Ковдозеро, оз. Имандра). Более того, вселение корюшки в ВТВ обусловило здесь негативные сукцессионные процессы, выразившиеся в изменении эколого-тофических связей гидробионтов и увеличении численности личиночных стадий паразитов *Diphyllobotrium ditremum* и *Diplostomum volvens*.

#### Литература

- Быховская-Павловская И.Е., 1985. Паразиты рыб. Руководство по изучению. Л.: Наука. 121с.  
 Догель В.А., 1938. Некоторые итоги работ в области паразитологии // Зоологический журнал. Т. XVII. № 4.  
 Догель В.А., 1939. Влияние акклиматизации рыб на распространение рыбных эпизоотий // Изв. Всес. научно-исслед. ин-та озern. и речн. рыбн. хоз. Т. XXI.  
 Митенев В.К., 1997. Паразиты пресноводных рыб Кольского Севера. Мурманск:Изд-во ПИНРО. 199 с.

Митенев В.К., Карасев А.Б., Пономарев С.В., 2007. Экологические особенности паразитофауны онежского вселенца – корюшки *Osmerus eperlanus* – в Верхнетуломском водохранилище (Кольский регион) // Рыбоводство и рыбное хозяйство. №1. С. 22–24.

Неличик В.А., 1998. Биологические особенности корюшки (*Osmerus eperlanus eperlanus natio petrovi* n. Smirnova) интродуцированной в Верхнетуломское водохранилище // Паразиты и болезни морских и пресноводных рыб Северного бассейна // Сб. науч. тр. / ПИНРО. Мурманск: Изд-во ПИНРО. С. 127–132.

Песенко Ю.А., 1982. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М.: Наука. 288 с.

Румянцев Е.А., 2007. Паразиты рыб в озерах Европейского Севера (фауна, экология, эволюция). Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ. 252 с.

## THE PARASITE FAUNA OF THE EUROPEAN SMELT (*OSMERUS EPERLANUS*) FROM SOME ISOLATED LAKE POPULATIONS IN THE NORTH EUROPEAN PART OF RUSSIA

A.B. Karasev<sup>1</sup>, S.V. Ponomarev<sup>1</sup> and O.S. Eremenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Knipovich Polar Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography (PINRO), Murmansk, Russia

<sup>2</sup> Murmansk State Technical University (MG TU), Murmansk

e-mail: paralab@pinro.ru

The purpose of this paper is to make a comparative analysis of parasite fauna of the European smelt introduced into the Upper Tuloma river water storage basin (VTV basin), the Onega lake smelt (maternal water body) and three natural water bodies on the Kola Peninsula (lakes Kovozero, Imandra and Kolvitskoye). According to our and literature data, in mentioned five water bodies a total of 38 parasite species occurred, most of them belonging to 9 taxonomic groups: *Protozoa* (6), *Monogeneoidea* (1), *Cestoda* (7), *Trematoda* (9), *Nematoda* (5), *Acanthocephala* (5), *Hirudinea* (1), *Mollusca* (1) and *Crustacea* (3).

The greatest similarity (based on the Serensen-Chekanovsky coefficient) between smelt parasites has been traced in the water bodies on the Kola Peninsula. The Onega Lake smelt is similar to them in parasite composition. The parasite fauna of the European smelt introduced to the VTV basin is absolutely depleted.

Main smelt parasites in the VTV basin are *Diphyllobothrium ditremum* with 100% infestation rate over all years of observations (2003–2008) at the abundance index from 32.2 to 55.9 and *Diplostomum volvens* with prevalence fluctuated in different years from 86.7% to 100% at the abundance index of 3.6 to 34.1.

The introduction of the European smelt into the VTV basin has led to negative successive processes manifested in changed ecological-trophic relations between marine organisms and in increased abundance of named parasites at larval stage.

## ВКУСОВЫЕ РЕАКЦИИ КЕРЧАКА *MYOXOCEPHALUS SCORPIUS* И ПОЛЯРНОЙ КАМБАЛЫ *LIOPSETTA GLACIALIS*

А.О. Касумян, Е.А. Марусов

Биологический факультет Московского государственного университета,  
г. Москва, Россия, e-mail: alex\_kasumyan@mail.ru

Пищевое поведение рыб имеет полисенсорную основу, в его регуляции принимают участие все органы чувств, в том числе хемосенсорные системы – обоняние, вкус и общее химическое чувство (Атема, 1980; Павлов, Касумян, 1990). Заключительная фаза пищевого поведения, когда происходит предварительная, а затем и завершающая оценка пригодности обнаруженного корма, в значительной мере основана на функции вкусовой системы (Kasumyan, Døving, 2003). Сведения о вкусовых предпочтениях известны в основном для пресноводных рыб. В задачи настоящей работы входила оценка вкусовых реакций у двух видов рыб, населяющих побережье Белого моря – европейского керчака *Myoxocephalus scorpius* и полярной камбалы *Liopsetta glacialis*.

### Материалы и методы

Эксперименты выполнены на 6 керчаках (длина 13–17 см, масса 30–60 г) и на 4 полярных камбалах (длина 15–22 см, масса 30–120 г), отловленных в проливе Великая Салма (Кандалакшский залив, Белое море). Рыб после отлова вначале передерживали в течение недели в

небольшом сетчатом садке, установленном в море, а затем рассаживали поодиночке в аквариумы размером 40x25x20 см с небольшим постоянным протоком чистой морской воды (0.13 л/мин). Грунт в аквариумах отсутствовал. Рыб кормили ежедневно живыми гаммарусами *Gammarus spp.* и пескожилем *Arenicola marina*. Температура воды составляла 7–9°C. Эксперименты проведены в сентябре 2008 года на Беломорской биологической станции Московского государственного университета.

В ходе эксперимента каждой рыбе по очереди давали по одной грануле с разными вкусовыми стимулами или контрольные и с помощью секундомера регистрировали время удержания в ротовой полости схваченной гранулы, а также отмечали, была ли съедена гранула или отвергнута. Не съеденные гранулы из аквариума удаляли. Гранулы изготавливали из агар-агарового геля (Reanal, 2%), который готовили на морской воде, в состав геля вместе с красителем Ponceau 4R (5 мкМ) вводили экстракт гаммарусов (в концентрации 50 г/л) или аминокислоты (L-изомеры, концентрация 0.1 М). Контрольные гранулы содержали только краситель. Гранулы вырезали из застывшего геля непосредственно перед проведением каждого опыта. Использовали цилиндрические гранулы длиной 4.1 мм и диаметром 4.0 мм. Более детально процедура подготовки рыб к опытам, методика изготовления и хранения гранул, выполнения экспериментов и содержания рыб в период проведения работы изложена ранее (Касумян, Морси, 1996). Для приготовления экстракта использовали живых гаммарусов. После гомогенизирования в фарфоровой ступке экстракт настаивали в течение 30 минут, затем профильтровывали и разводили до требуемой концентрации свежей морской водой.

Общее число опытов на керчаке и полярной камбале составило 419 и 333 соответственно. Статистический анализ результатов осуществлен с использованием критерия  $\chi^2$  и  $t$ -критерия Стьюдента.

### Результаты и обсуждение

После посадки в экспериментальные аквариумы часть рыб уже на следующий день начала схватывать предлагавшийся корм. Через три дня пищевую активность стали проявлять все рыбы обоих видов. Обычно рыбы лежали на дне в разных местах аквариума достаточно продолжительное время и лишь изредка меняли позицию или совершали кратковременные проплывы. Внесение в аквариум корма стимулировало бросок и захват пищи. На шестой день была начата пробная подача гранул, содержащих экстракт гаммаруса. Схваченную гранулу рыбы обоих видов проглатывали моментально, не производя никаких видимых движений челюстями или жаберными крышками, что характерно для большинства исследованных ранее видов. При проведении опытов на керчаке с гранулами, в состав которых входили различные аминокислоты, было обнаружено, что схваченные гранулы проглатывались практически мгновенно или отвергались рыбой через определенный промежуток времени, в течение которого, как правило, не было заметно каких-либо жевательных движений. Отвергнутая гранула часто была раздроблена на части. Повторные схватывания гранулы и ее окончательное отвергание наблюдались лишь в единичных случаях. Значительная часть внесенных в аквариумы гранул не была схвачена рыбами вообще. В нескольких случаях было зафиксировано длительное (десятки секунд) удержание гранулы в ротовой полости рыбы с последующим проглатыванием, сопровождающимся характерным движением жаберных крышек. Поедаемость всех использованных типов гранул превышала потребление контрольных, причем для экстракта гаммаруса и 4-х аминокислот это превышение было достоверным (Табл. 1).

Таблица 1

#### Вкусовые ответы керчака

Раздражитель	Число предъявлений/число схватываний гранул	Поедаемость гранул, $M \pm m$ , %	Продолжительность удержания гранулы при отвергании, с
Гаммарус	52/43	100***	-
Аланин	57/31	100***	-
Глицин	47/21	100***	-
Аргинин	54/29	$51.7 \pm 9.4^{**}$	$11.0 \pm 2.7$
Гистидин	63/22	$36.4 \pm 10.5^*$	$6.5 \pm 2.2$
Аспарагин	49/28	$32.1 \pm 9.0$	$8.4 \pm 1.8$
Фенилаланин	46/28	$21.4 \pm 7.9$	$9.3 \pm 2.1$
Контроль	51/27	$11.1 \pm 6.2$	$9.8 \pm 2.2$

В отличие от керчака полярная камбала проглатывает схваченную гранулу либо сразу, либо тестирует ее во рту, неравномерно двигая жабрами, замирает и снова возобновляет этот процесс так, что точно зафиксировать момент проглатывания трудно. При отвергании гранула может быть вытолкнута изо рта целиком или частями, либо пропущена через жабры в виде мелких кусочков. Повторные схватывания гранулы у камбалы отмечались очень редко. Гранулы с экстрактом гаммаруса, аланином и глицином потреблялись камбалой достоверно лучше контрольных, а гранулы с аргинином и аспарагином поедались достоверно хуже. Продолжительность удержания двух типов наиболее поедаемых гранул (с экстрактом гаммаруса и с аланином) была значимо меньше, чем контрольных (Табл. 2).

Таблица 2

**Вкусовые ответы полярной камбалы**

Раздражитель	Число предъявлений/ число схватываний гранул	Поедаемость гранул, М ± m, %	Продолжительность удержания гранулы, с	
			при заглатывании	при отвергании
Гаммарус	29/26	100***	0.8 ± 0.2***	–
Аланин	60/39	92.3 ± 4.3***	2.4 ± 0.7***	3.5 ± 0.8
Глицин	43/27	85.2 ± 7.0**	10.2 ± 1.8	4.8 ± 3.7
Фенилаланин	31/17	52.9 ± 12.5	10.0 ± 4.1	9.0 ± 2.0
Контроль	62/33	51.5 ± 8.8	9.8 ± 2.6	9.4 ± 1.7
Гистидин	36/15	26.7 ± 11.8	1.0 ± 1.0	3.6 ± 1.0*
Аргинин	45/22	22.7 ± 9.1*	4.4 ± 4.1	6.2 ± 1.0
Аспарагин	27/16	18.8 ± 10.1*	5.1 ± 5.1	6.8 ± 1.5

Значительное количество отказов схватывать внесенную в аквариум гранулу у обоих видов возможно связано с тем, что эксперименты проводили в сентябре, в конце сезона интенсивного летнего откорма, в период снижения температуры воды. Относительно небольшой размер гранул также мог отрицательно влиять на пищевое возбуждение рыб. Отсутствие повторных схватываний гранул по-видимому характерно для рыб, питающихся в условиях сильных приливо-отливных течений. Такая же закономерность прослеживается и у пресноводных речных рыб, обитающих на течении (Касумян, 1997).

Проведенное исследование показывает, что европейский керчак и полярная камбала, населяющие побережье Белого моря и являющиеся зрительными хищниками, различаются по своим вкусовым предпочтениям некоторых из использованных веществ. Отличаются эти рыбы и особенностями пищевого поведения, связанного с тестированием вкусовых качеств пищи. Выявленные отличия во вкусовой рецепции и в поведении могут способствовать снижению пищевой конкуренции между этими совместно обитающими рыбами.

*Работа осуществлена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 07-04-00793) и Программы «Ведущие научные школы».*

**Литература**

- Касумян А. О., Морси А. М. Х., 1996. Вкусовая чувствительность карпа, *Cyprinus carpio*, к свободным аминокислотам и классическим вкусовым веществам // *Вопр. ихтиологии*. Т. 36, № 3. С. 386–399.
- Касумян А.О., 1997. Вкусовая рецепция и пищевое поведение рыб // *Вопр. ихтиологии*. Т. 37, № 1. С. 78–93.
- Павлов Д. С., Касумян А. О., 1990. Сенсорные основы пищевого поведения рыб // *Вопр. ихтиологии*. Т. 30, Вып. 5. С. 720–732.
- Atema J., 1980. Chemical senses, chemical signals and feeding behaviour in fishes // *Fish behaviour and its use in the capture and culture of fishes*. Manila. P. 57–101.
- Kasumyan A. O., Døving K. B., 2003. Taste preferences in fish // *Fish and Fisheries*. V. 4, № 4. P. 289–347.

**TASTE RESPONSE IN SCULPIN MYOXOCEPHALUS SCORPIUS AND ARCTIC FLOUNDER *LIOPSETTA GLACIALIS***

**A. Kasumyan, E. Marusov**

Faculty of Biology, Moscow State University, Moscow, Russia  
e-mail: alex\_kasumyan@mail.ru

Behavioral taste response and taste preferences in sculpin *Myoxocephalus scorpius* and Arctic flounder *Liopsetta glacialis* were studied. Both fish are common in coastal waters of the White Sea. Agar-agar (2%) pellets

flavoured by free amino acids (0.1 M; L-isomers) or by water extract of *Gammarus spp.* (50 g/l) were offered one by one to single fish in aquarium. Blank pellets were used for the control. Pellets flavoured with different amino acids and blank pellets were offered for fish in random order. During a trial the number of pellet grasps and retention time were registered and the pellets acceptance as well. It was found that between 6 amino acids tested 4 (alanine, glycine, arginine, and histidine) were palatable and 2 amino acids (asparagine, phenylalanine) were indifferent for sculpin. Alanine and glycine were palatable for Arctic flounder also but arginine and asparagine were deterrent, and histidine and phenylalanine were indifferent taste stimuli. Fish of both species swallowed or ultimately refused grasped pellet usually after a single grasp. Retention time varied between 1–2 and 10–11 seconds.

## **СОДЕРЖАНИЕ НЕФТЕУГЛЕВОДОРОДОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ В ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНАХ ЮЖНОЙ ЧАСТИ НОВОЙ ЗЕМЛИ.**

**Н.В. Климовский**

Северный филиал ПИНРО, г. Архангельск, Россия

e-mail: klimovskiy@sevpinro.ru

### **Введение**

В последние годы в Баренцевом море заметно усилилась хозяйственная деятельность по разведке, добыче и переработке углеводородного сырья. В результате значительная часть акватории подвергается риску загрязнения нефтяными углеводородами (НУ). Возможность загрязнения связана не только с непосредственной добычей, но и с транспортировкой нефти и продуктов ее переработки, неизбежно сопровождающихся аварийными выбросами и разливами (Патин, 2001). Как показывает практика исследований в Мировом океане, наибольший ущерб при миграции аварийной нефти испытывают экосистемы прибрежных зон морей. Здесь возникает угроза распространения нефти по всей водной толще до дна, сильного загрязнения поверхности моря и донных отложений, приливной осушки, устьев рек и озер эстуарной зоны. Следует учитывать, что именно в подобных зонах наиболее часто формируются участки повышенной биопродуктивности и биоразнообразия водной и околотовальной флоры и фауны, включая охраняемые виды растений и птиц, включенных в Красные Книги федерального и регионального уровня. После контакта с нефтью подобные участки теряют свою экологическую значимость и могут привести к полной потере локальных экологических группировок.

Среди факторов воздействия нефтяных углеводородов на биоту следует отметить непосредственный токсический эффект соединений, входящих в состав нефти (полиароматические углеводороды, фенолы), образование гидрофобными соединениями (парафины) пленки на поверхности воды, препятствующей нормальному газообмену, налипание нефти на оперение птиц и т.д. (Мионов, 1985). При этом возможно ухудшение качества эстуарных и морских вод, условий жизнедеятельности различных гидробионтов и накопление загрязняющих веществ в промысловых объектах.

В подобной ситуации экологические исследования позволяют обнаружить зарождение негативных тенденций и выявить причины их появления.

Печорское море представляет большой интерес в промышленном освоении шельфа. Здесь обнаружены значительные запасы нефти и газа, добыча которых либо ведется, либо месторождения начинают осваивать. В случае аварийных выбросов может пострадать не только материковая прибрежная зона, но и побережье архипелага Новая Земля.

Прибрежные районы южной части Новой Земли до настоящего времени являются малоизученными. Однако уже известно, что здесь создаются благоприятные условия для развития некоторых морских и проходных видов рыб, в частности, новоземельского гольца.

Цель данной работы состояла в определении концентрации нефтяных углеводородов в грунтах в прибрежных районах южной части Новой Земли, предположительно испытывающих на себе антропогенную нагрузку.

### **Материалы и методы**

Отбор проб производили с борта научно-исследовательского судна (НИС) «Протей», а также на литорали во время отлива в губах и заливах южной части архипелага Новая Земля в июле 2008 г. (рис.1). Были исследованы залив Цивольки, бухты Никитина, Крапивина, губы Тархова, Каменка и

Моржовая. Образцы грунта отбирали дночерпателем Ван-Вина с площадью захвата 0,1 м<sup>2</sup> в специально подготовленные стеклянные бутылки с завинчивающимися пробками. Для определения массовой концентрации НУ в донных отложениях применяли флуориметрический метод, основанный на экстракции их гексаном и измерении интенсивности флуоресценции экстракта на анализаторе жидкости «Флюорат 02-3М» (Методика ПНД Ф 16.1.21.-98).

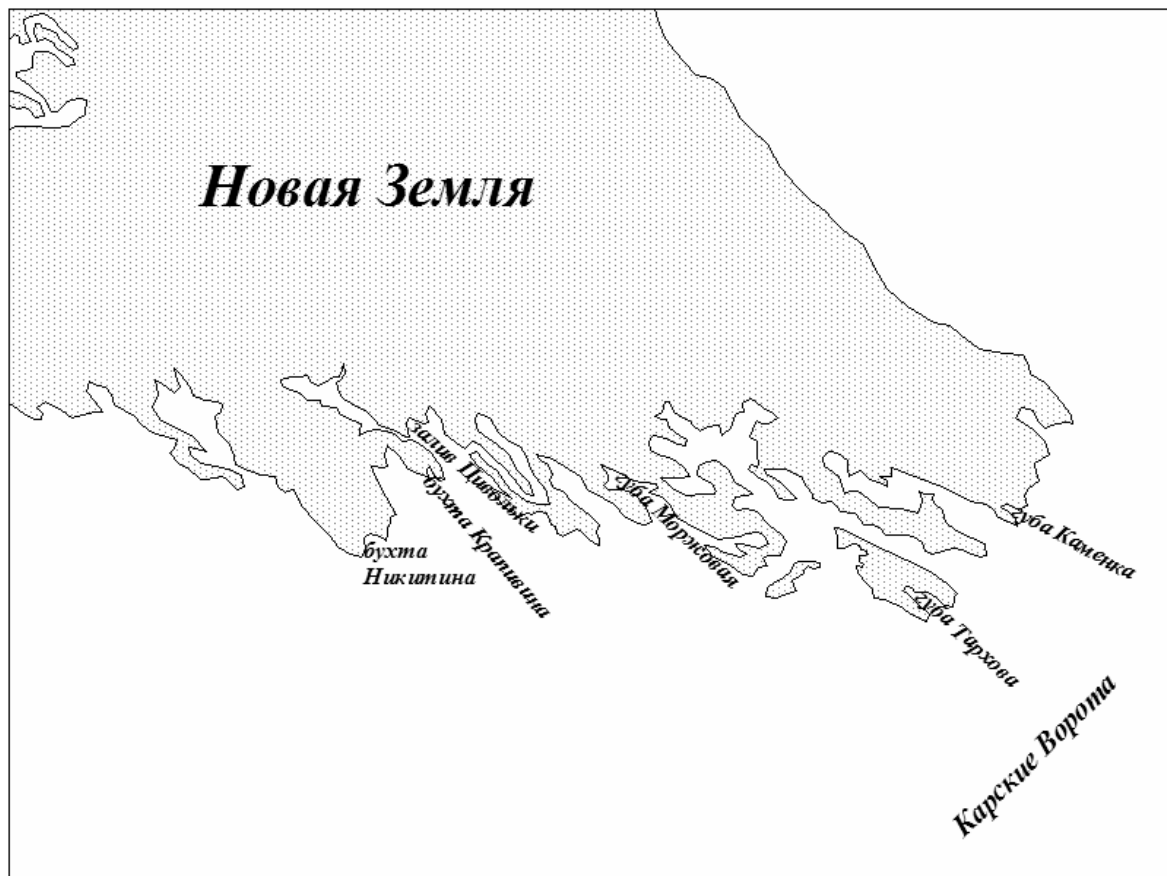


Рис. 1. Карта-схема районов отбора проб донных отложений

### Результаты и обсуждение

Большое разнообразие форм рельефа дна исследуемой акватории обуславливает наличие всех типов грунта (табл. 1).

#### Статистические характеристики содержания нефтяных углеводородов в донных отложениях прибрежных районах южной части Новой Земли, мг/кг сухого грунта

Статистики	Губа Каменка	Губа Тархова	Губа Моржовая	Бухта Крапивина	Зал. Цивольки	Бухта Никитина
Среднее значение	3,12	3,60	4,72	2,45	5,12	2,68
Стандартное отклонение	0,44	0,97	2,24	0,35	2,18	0,15
Медиана	3,00	3,51	3,90	2,45	5,60	2,60
Трехсреднее значение	2,98	3,63	4,25	2,45	5,33	2,62
Нижний квартиль (25%)	2,90	3,18	3,30	2,33	3,10	2,60
Верхний квартиль (75%)	3,00	4,31	5,90	2,58	7,00	2,68
Интерквартильный азмах	0,10	1,13	2,60	0,25	3,90	0,07
Максимальное значение	3,90	4,72	9,50	2,70	7,30	2,90
Минимальное значение	2,80	2,26	2,40	2,20	2,60	2,60
Количество наблюдений	5	5	9	2	5	4
Тип грунта	илистый песок	глина, галька	глина, галька, валун	мелкозернистый песок	глина, ил	песок, галька, валун

Для определения статистических характеристик по уровням загрязненности донных отложений наряду с традиционными статистиками (среднеарифметическим значением и стандартным отклонением) применяли так называемые робастные (помехоустойчивые) параметры, в число которых входила и медиана, которая при небольшом числе данных больше соответствует среднему значению для данной выборки.

Как показали исследования, загрязненность донных отложений НУ зависит от сорбционной способности, обусловленной составом (механическим, химико-минералогическим) и физическими свойствами донных отложений. Из таблицы видно, что содержание определяемого канцерогена в донных отложениях уменьшается от глинистых илов к мелкозернистому песку.

Концентрации нефтяных углеводородов в донных отложениях исследуемых районах были низкими и колебались в диапазоне 2,2–9,5 мг/кг сухого грунта. Минимальное значение (2,2 мг/кг сух. гр.) было выявлено в бухте Крапивина. Максимальное значение (9,5 мг/кг сух. гр.) зафиксировано в губе Моржовая. На остальных прибрежных районах концентрация НУ не превышала 7,3 мг/кг сух. гр.

### **Выводы**

Наибольший потенциал к накоплению НУ отмечается на иловых отложениях, наименьший – для галечно-гравийных песков и мелкозернистого песка. Илистые же грунты весьма подвержены размыву, и в зоне эрозионного воздействия, распространяющегося до дна, или на участках, где могут возникать сильные течения, значительное загрязнение донных осадков обычно не наблюдается.

Анализ полученных нами данных по содержанию НУ в донных отложениях в прибрежных районах южной части Новой Земли показал, что уровень загрязнения исследуемого района данным канцерогеном в целом следует признать относительно низким в среднем 2,5–5,1 мг/кг сух. гр.

### **Литература**

Методика ПНД Ф 16.1.21-98. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в пробах почв на анализаторе жидкости «Флюорат – 02». – Москва: 1998. – 14 с.

Миронов О. Г., 1985. Взаимодействие морских организмов с нефтяными углеводородами. Л.: Гидрометеоиздат. 127 с.

Патин С. А., 2001. Нефть и экология континентального шельфа. М.: Изд-во ВНИРО. 247 с.

## **THE CONTENTS OF PETROHYDROCARBONS IN BOTTOM SEDIMENTS IN OFFSHORE AREAS OF THE AUSTRAL PART OF NEW LAND.**

**N. V. Klimovskiy**

Northern Branch of PINRO, Arkhangelsk, Russia

e-mail: klimovskiy@sevpinro.ru

Last years in Barents sea economic activities on investigation, extraction and processing of hydrocarbonaceous raw material have apparently amplified. In result the significant part of harbour area run the risks pollutions by petroleum hydrocarbons. The opportunity of pollution is connected not only to immediate extraction, but also with transportation of petroleum and the products of its processing inevitably escorting with emergency emissions and overflows.

The purpose of the given work has consisted in definition of concentration of petroleum hydrocarbons in soils in offshore areas of an austral part of New Land, presumably testing on itself an anthropogenic load.

To definition of percentage by weight hydrocarbonaceous in bottom sediments applied fluorimetric a method grounded on extractions by their hexane and measurement of intensity of fluorescence of an extract on the evaluator of fluid ««Fluorat-02»-3M» (Procedure PND F 16.1.21.-98).



# К ЭКОЛОГИИ ПРИМОРСКИХ ОСОК (*CAREX L*) КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ

М.Н. Кожин

Кандалакшский государственный природный заповедник, г. Кандалакша, Россия  
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
географический факультет, кафедра биогеографии, г. Москва  
e-mail: mnk\_umba@mail.ru

## Введение

Исследования экологических требований осок, особенностей их распространения, фитоценотической значимости для локальных территорий достаточно редки.

На территории беломорской части Кандалакшского заповедника нами были выделены и кратко охарактеризованы 4 экологические свиты: 1. Свита прибрежно-водных видов пресных водных объектов; 2. Свита болотных осок; 3. Свита лесных осок; 4. Свита приморских осок [Кожин, 2008]. В основу настоящих подразделений на экологические свиты (группы) были положены методические разработки Д.Н. Цыганова и Л.Г. Раменского [Цыганов, 1983], а также собственные инструментальные измерения гидрохимических характеристик (электропроводность и pH).

Приморские осоки представляют собой одну их наиболее интересных свит. Они разнообразны как в систематическом, так и эколого-топологическом отношении.

## Материалы и методы

Материал исследований – результаты полевых работ, проведенных нами на территории Турьего мыса, островов Великого и Лодейного (Северный архипелаг), окрестностей с. Лувеньга Кандалакшского залива Белого моря.

Описание сообществ с участием осок проводилось на серии геоботанических площадок по общепринятой методике для водной растительности и лугов [Юннатов, 1964; Воронов, 1973; Катанская, 1981]. Площадки закладывались либо случайным образом по маршруту, либо по экологическому профилю. Для описания выбирались растительные сообщества в условиях однородного микрорельефа и сходного действия экологических факторов.

При выборе размера пробной площади было отдано предпочтение 25 кв. м. Для сообществ и растительных группировок, имеющих меньшую площадь, исследование осуществлялось в естественных границах.

Экологические профили закладывались для установления закономерных отношений между растительностью и средой [Юннатов, 1964] по градиенту ведущих факторов среды: влияние морской воды и импульверизация, уровень воды, защищенность от волнобоя, заболоченность и пр.

Для выявления взаимосвязей растительности и среды для некоторых описаний выполнены инструментальные измерения. Для большинства площадок непосредственно в поле измерен водородный показатель индикатором рНер 2 (погрешность  $\pm 0,1$ ) и электропроводность индикатором DIST 3 (погрешность  $\pm 2\%$ )<sup>1</sup>. Для некоторых экологических профилей провели техническое нивелирование Нивелиром НВ-1. Погрешность около 1,2 см, что связано с сильной неустойчивостью и вязкостью отложений литорали.

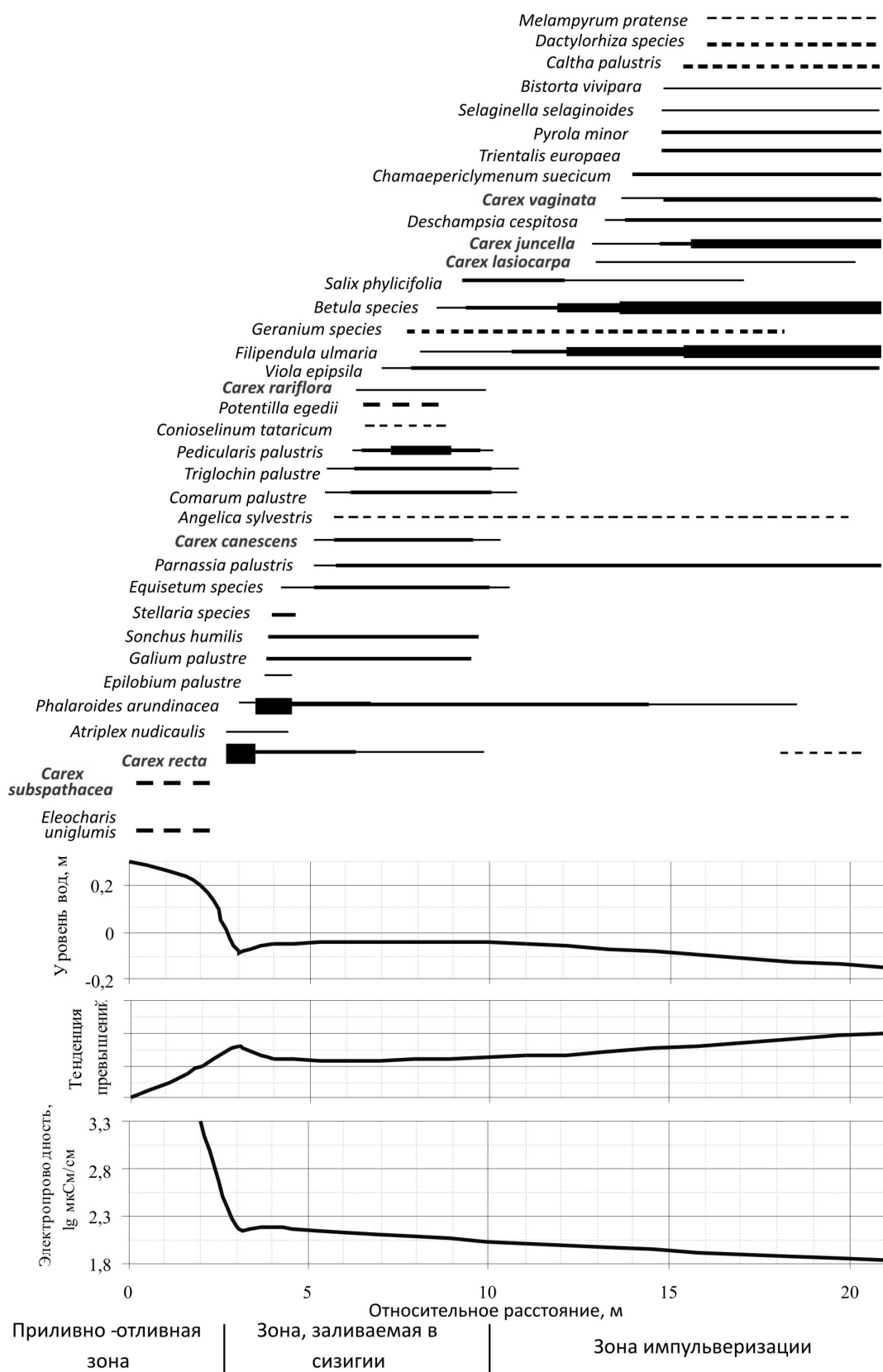
Номенклатура сосудистых растений ориентирована на сводку С.К. Черепанова [1995]; род *Carex* L. – приведен в соответствии с монографией Т.В. Егоровой [1999]. Названия таксонов зеленых мхов обозначены в соответствии со сводкой М.С. Игнатова, О.М. Афониной и Е.А. Игнатовой [2006].

Собранный гербарный материал передан на хранение в Гербарий Кандалакшского заповедника (KAND), Гербарий им. Д.П. Сырейщикова МГУ (MW), Гербарий кафедры Биогеографии МГУ (MWG)

## Результаты и обсуждение

Свита приморских видов включает облигатные галофиты *C. subspathacea*, *C. recta*, *C. salina*, *C. paleacea*, *C. mackenziei*, *C. glareosa* и вид, тяготеющий к осолонению, – *C. rariflora*. Эти виды широко распространены по побережью Беломорских территорий заповедника.

<sup>1</sup> В морских водах электропроводность прямо пропорциональна солёности; в пресных – отражает количество ионов в воде, но зависимость эта не линейна.



Обилие: ■ - 5; ■ - 4; ■ - 3; ■ - 2; — - 1; — - +.

Рис. 1. Пространственное изменение проективного покрытия видов сосудистых растений по градиенту факторов среды. О. Великий, губа Лобаниха. 9.08.2007.

При исследовании экологии этих осок возник ряд методических проблем. Во-первых, почти для всех видов отсутствовали значения в шкалах Л.Г. Раменского [1953], Д.Н. Цыганова [1983], Ландольта [Landolt, 1977], Элленберга [Ellenberg, 1974]. Во вторых, электропроводность измерялась только до значения 2000 мкСм/см и при наличии воды на площади, поэтому иногда использовался сопряженный с ней показатель – относительный высотный уровень сообщества.

*Carex subspathacea* – пионер зарастания морских побережий. Она распространена по аккумулятивным и денудационным побережьям морских заливов. Среди приморских осок отличается наибольшей выносливостью к воздействию морских вод. Сообщества заливаются в каждый прилив, располагаются на среднем и высоком уровне литорали.

Ценопопуляции встречаются только в условиях значительного и постоянного засоления морскими водами. Электропроводность составляет более 2000 мкСм/см, pH слабощелочная, что соответствует морским водам (рис. 1). Более низкие значения получены при измерении характеристик в отлив, близ ручьевого потока.

*Carex subspathacea* образует мощные густые дерновины (проективное покрытие до 100%), формируя условия для дальнейшего развития сообщества; это сильный эдификатор. Ценозы обычно маловидовые, осоке сопутствует с высоким постоянством *Triglochin palustre*, также иногда встречаются *Atriplex praecox*, *Potentilla egedii*, *Eleocharis uniglumis*, *Salicornia pojarkovae*, *Glaux maritima* и пр. В топологическом отношении, настоящие ценозы приурочены всегда к заливаемой, реже к интенсивно подтопляемой литорали моря (рис. 1). В других экотопах она никогда не встречается.

*C. recta*. Облигатная галофитная осока. Распространена по морским лугам среднего и высокого уровня. Популяции заливаются морской водой очень редко, но в значительной степени испытывают импульверизационное воздействие и подтопление солеными водами. Типологически сообщества приурочены к наиболее резкой и динамичной области геохимического барьера море – суше. В период исследований характеристики электропроводности составляли от 60 до 800 мкСм/см, pH был слабокислым (5,2–6) (рис. 1). Увлажнение поверхности гумусового горизонта (A1) обычно влажное-свежее.

Данная осока сообщества формирует обычно на небольших повышениях – береговых валах морского побережья в условиях слабого подтопления грунтовыми материковыми водами. Эти сообщества маловидовые, в них осока прямая имеет наибольшее проективное покрытие (до 95%). Часто ей сопутствуют *Atriplex nudicaulis*, *Ligusticum scoticum*, *Phalaroides arundinacea*, *Chamaepericlymenum suecicum* и пр. (рис. 1).

Изредка встречается с низким проективным покрытием и в других приморских экотопах. На территории побережий Белой губы (о. Великий) встречены ценопопуляции на верхнем уровне литорали, периодически заливаемые приливами. Возможность распространения осоки прямой в данных условиях связаны с особенностями приливно-отливного режима: высота приливов здесь составляет несколько десятков сантиметров. Отмечены так же отдельные особи в приморском березняке, возможно, они являются экологическими реликтами (рис. 1).

*C. salina* – очень редкое растение; нуждается в детальном экологическом исследовании. Встречена 2 раза в слабокислых солоноватых водах. Как в таксономическом, так и, вероятно, в экологическом отношении, занимает промежуточные позиции между *C. recta* и *C. subspathacea*.

*C. paleacea* – типичная галофитная осока. На территории заповедника встречается на большинстве участков, но в небольшом количестве. Она приурочена к приморским лугам среднего и высокого уровня, иногда в березняках при влажном гумусовом горизонте. Сведения по экологическим полям отсутствуют.

*C. mackenziei*. Широко распространена по аккумулятивным илистым заливам в отсутствии волнобоя, по спорадически осолоняемым скальным ваннам, эстуариям ручьев и пр. Сообщества подтопляются в каждый прилив, иногда заливаются, реже испытывают спорадическое влияние морской воды. Увлажнение обычно близко к мокрому или грунт покрыт водой (до 15–20 см).

Положение экотопов, которые она занимает, в геохимическом отношении динамично; электропроводность и pH могут изменяться в значительной степени и детерминироваться стоком с суши, приливно-отливным режимом и пр. условиями. Несмотря на динамичность данных характеристик, в ее местообитаниях сохраняется стабильный градиент значений факторов среды (рис. 2).

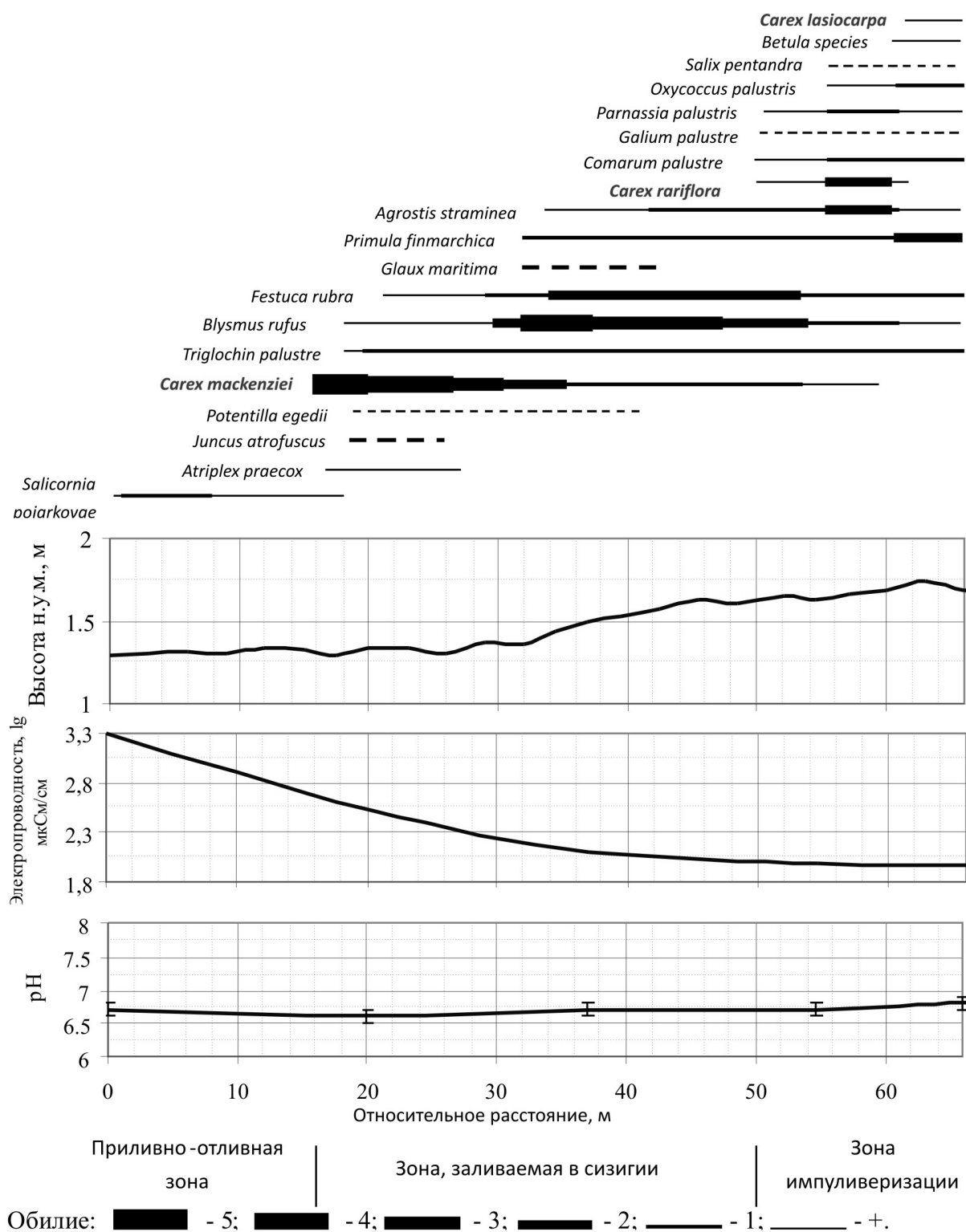


Рис. 2. Пространственное изменение проективного покрытия видов сосудистых растений по градиенту факторов среды от моря к суше. О. Великий, губа Котиха. 9.08.2007.

Ценопопуляции этой осоки всегда приурочены к сильно опресненным участкам морских побережий: эстуариев ручьев, сточных ложбин с болот и пр. Значения электропроводности – от 95 и до более 200 мкСм/см. Реакция среды близка к нейтральной, что указывает на совокупное действие слабощелочных морских и кислых вод суши (рис. 2).

В отличие от других осок для *C. mackenziei* характерно спорадическое континуальное снижение проективного покрытия по мере снижения значений электропроводности (солёности). *C. mackenziei* на илистой литорали зачастую образует плотные заросли. Проективное покрытие сильно варьирует в зависимости от положения в пространстве (рис. 2). В состав ценозов нередко входят *Atriplex praecox*, *Blasmus rufus*, *Eleocharis uniglumis*, *Triglochin palustre*, *Calamagrostis neglecta* и пр. Также отмечены ее ценопопуляции в скальных ваннах, отделяющихся водоемах, микропонижениях на приморских лугах.

***C. glareosa*** – вид приморских скал, галечников. В заповеднике широко распространена на отдельных участках, но исследованиями не была охвачена.

***C. rariflora*** – вид тяготеющий к местообитаниям с осолонением. Распространена по заболоченным участкам приморских лугов, заболоченным приморским березнякам, грядово-мочажинным болотам, особенно близ моря и др. экотопам. Ценопопуляции обычно приурочены к зоне заливаемой в сизигии и зоне импульверизации (рис. 1, 2), а так же встречаются на значительном удалении от моря, и, вероятно, являются экологическими реликтами в условиях вздымания суши в результате гляциоизостазии. *C. rariflora* обитает при сыро-луговом и болотно-луговом увлажнении и различным богатстве почв (рис. 1, 2).

Ценопопуляции ее близ моря обычно располагаются в наиболее динамичной зоне электропроводности, при достаточно стабильном водородном показателе. Электропроводность изменяется как в пространстве, так и во времени в десятки раз (от сотни и до более чем 2000 мкСм/см)!

В ценоотическом отношении осока редкоцветковая является характерным видом заболоченных приморских лугов верхнего, реже среднего уровня. Проективное покрытие обычно около 10–15%, редко достигает больше. В составе настоящих фитоценозов обычно сопутствуют *Primula finmarchica*, *Parnassia palustris*, *Agrostis straminea*, *Campylium stellatum* (рис. 1,2). На грядово-мочажинных болотах проективное покрытие обычно значительно меньше.

**Выводы.** Приморские осоки Кандалакшского залива белого моря являются облигатными галофитами (и *C. rariflora* – вид, тяготеющий к осолонению) и с точки зрения экологических параметров, объединяются в особую группу – свиту приморских осок. У этой свиты приморских осок наблюдается строгая приуроченность к местообитаниям близ моря и четкая пространственная дифференциация по факторам среды: осолонению-опреснению, степени обводненности и характера волнобоя. Большинство видов крайне стеноотопны и стеногалинны. Строгое распределение видов в пространстве связано с жесткими условиями обитания популяций.

### Литература

- Воронов А. Г., 1973. Геоботаника. М.: Высшая школа. 383 с.
- Егорова Т. В., 1999. Осоки (*Carex* L.) России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР) / Отв. ред. А.Л. Тахтаджян. СПб.: СПбГХФА; Сент-Луис: Миссурийский ботанический сад. 772 с.
- Игнатов М. С., Афонина О.М. Игнатова Е.А. и др., 2006. Список мхов Восточной Европы и Северной Азии. // *Arctoa*. Т. 15. С. 1–130.
- Катанская В. М., 1981. Высшая водная растительность континентальных водоемов СССР. Методы изучения. Л.: Наука. 188 с.
- Кожин М. Н., 2008. Экологические свиты осок Кандалакшского заповедника. // Материалы научной конференции, посвященной 70-летию Беломорской биологической станции МГУ: Сборник статей. М.: «Гриф К». С. 191–197.
- Раменский Л. Г., Цаценкин И.А., Чижилов О.Н., Антипин Н.А., 1956. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. М.: Сельхозгиз. 472 с.
- Цыганов Д. Н., 1983. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. М.: Наука. 196 с.
- Черепанов С. К., 1995. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб: Мир и семья. 992 с.
- Юннатов А. А., 1964. Типы и содержание геоботанических исследований. Выбор пробных площадей и заложение экологических профилей. // Полевая геоботаника. Т. 3. М. –Л.: Наука. С. 9–36.
- Ellenberg H., 1974. Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas // *Scripta geobotanica*. Vol. 9. 97 S.
- Landolt E., 1977. Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora // *Veroff. Geobot. Inst. ETH. Zurich*. H.64. S. 1–208.

## AN ADDITION TO MARINE SEDGES' ECOLOGY (CAREX L.) OF KANDALAKSHA BAY (WHITE SEA)

M.N. Kozhin

Kandalaksha State Nature Reserve, Kandalaksha, Russia  
Lomonosov Moscow State University, Geography faculty, Moscow, Russia

The general ecological characteristics of marine sedges (*Carex subspathacea*, *C. recta*, *C. salina*, *C. paleacea*, *C. mackenziei*, *C. glareosa*, *C. rariflora*) are considered in this article. Data of environment factors were found by instrumental measurement and using of L.G. Ramenskiy ecological scales. All our sedges' species were characterized of habitat, phytocenosis' interrelationships and meanings. The individual spatial differentiation of ecological niches is also discussed.

## РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЫБНЫХ ЗАПАСОВ ОЗЕРА ЛАЧА В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО ЗАРАСТАНИЯ МАКРОФИТАМИ

А.К. Козьмин.

Северный филиал Полярного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича, Архангельск, Россия  
e-mail: kozmin@sevpinro.ru

### Введение

Озеро Лача находится в зоне активной хозяйственной деятельности человека, где в последние два десятилетия стали заметны изменения, свидетельствующие об ускорении процессов эвтрофирования. Складывающаяся на водоеме ситуация вызывает вполне понятную озабоченность как у местного населения, так и у работников рыбной промышленности и возникает вопрос о целесообразности проведения биологической и технической мелиораций. Основной экологической проблемой является прогрессирующий процесс зарастания оз. Лача макрофитами. Проведение мелиоративных работ возможно лишь в том случае, если будут изучены негативные последствия техногенного воздействия на водоем. Решая указанную выше проблему, необходимо помнить, что составные элементы экосистемы оз. Лача находятся в тесной зависимости друг с другом, потому при разработке концепции сохранения и неистощимого использования водных биоресурсов необходимо исходить из принципа «не навреди». Целью настоящей работы является оценка современного состояния экосистемы оз. Лача и разработка рекомендаций, обеспечивающих восстановление его рыбохозяйственного значения.

### Материал и методика

При подготовке работы использовались результаты многолетних рыбохозяйственных исследований, а также все доступные нам литературные и архивные материалы, характеризующие лимнологические особенности оз. Лача. Наибольший вклад в изучение оз. Лача внесли специалисты института Озероведения РАН, которые в 1972–1975 гг. и в 1980–1981 гг. занимались вопросами прогнозирования качества вод, в связи с переброской части стока северных рек в бассейн Волги (Гидробиология озер Воже и Лача, 1978; Гидрология озер Воже и Лача, 1979; Михайлов, Андроникова, Власов и др., 1988). Эти данные послужили основой для оценки многолетних изменений лимнологических показателей оз. Лача. При изучении современного гидрологического режима воды использовались материалы ГУ «Архангельский ЦГМС-Р».

Ихтиологические исследования включали в себя изучение состава ихтиофауны, определение биологических параметров и численности стад промысловых рыб. Оценка рыбных запасов проводилась путем контрольных обловов разноячейными ставными сетями и промысловым неводом длиной 700 м с шагом ячеи в кутке 40 мм. При определении возраста рыб применена методика Чугуновой (1959). Суммарный объем выборок рыб, собранных, обработанных и проанализированных по схеме полного биологического анализа составил 7,2 тыс. экз. Статистическая обработка материалов осуществлялась на персональном компьютере с использованием программы Microsoft Office Excel по стандартным методикам.

## Результаты и обсуждение

### Природные особенности озера и оценка рыбных запасов

Озеро Лача – один из крупных водоемов на севере Европейской части России, который возник на месте обширных приледниковых озер в пределах юго-восточного склона Балтийского кристаллического щита. Водоем вытянут в меридиональном направлении на 33 км, средняя ширина его 10 км, максимальная – 14 км. Площадь акватории 345 км<sup>2</sup>, объемом воды 0,549 км<sup>3</sup>.

Специфической чертой оз. Лача является мелководность. Зимой в результате снижения уровня воды 45% озерной котловины покрывается осевшим на грунт льдом. Донные отложения, представленные глинистыми илами, характеризуются невысоким содержанием органического вещества (в прибрежных илах 11–16%, в илах центральной части до 27%) и большим содержанием серы. Глинистые сапропелевые илы оз. Лача не могут быть использованы как природный сапропель. Последние 20 лет гидрологический и гидрохимический режим озера остается достаточно стабильным, заморных ситуаций у рыб не наблюдалось.

Рыбное сообщество в исследуемом водоёме представлено 12 видами, из них основными промысловыми объектами являются лещ, щука, язь и окунь. В период с 1961 по 1995 гг. уловы варьировали от 135 до 180 т, при этом более половины рыбодобычи составлял лещ. С 2000 г. учтенный вылов не превышает 30 т.

Важным показателем, характеризующим состояние запасов того или иного вида рыб в водоеме, является средний улов на одно промысловое усилие. Для оценки численности рыб принят средний улов на один замет 700 метровым неводом с шагом ячеи в кутке 40 мм. В 2008 г. учетный лов проведен в июле и августе. Выполнено 15 неводных заметов. В зависимости от районов промысла уловы варьировали от 100 до 2000 кг, средний улов на одно промысловое усилие составил 569 кг рыбы. Процентное соотношение разных рыб в уловах было следующим: лещ – 76 %, плотва – 8, окунь – 7, щука – 4, язь – 2, налим – 1, судак – 1, густера – 1%. Проанализировав неводные уловы за ряд лет (с 2000 по 2003 и с 2006 по 2008 гг.), установили, что летом 2008 г. средний улов на усилие был на уровне прошлых лет (табл.).

### **Средний улов рыбы промысловым неводом на озере Лача**

Годы	Исследовано уловов	Средний улов на усилие, кг	
		все виды рыб	лещ
2000	50	507	456
2001	27	639	599
2002	46	456	417
2003	70	501	460
2006	18	655	360
2007	7	600	450
2008	15	569	432

Площадь облова за один замет неводом составляет в среднем 15 га. Зная коэффициент уловистости применяемой ловушки и средний улов на одно промысловое усилие, можно рассчитать промысловый запас рыбы на облавливаемой акватории. Из литературы известно, что у озерных крупногабаритных неводов коэффициент уловистости колеблется от 0,4 до 0,7 (Денисов, 1978; Трещев, 1983). Специальных работ по изучению коэффициента уловистости, используемой нами ловушки, не проводилось. Для определения биомассы рыб в оз. Лача принят коэффициент уловистости невода 0,5. При среднем улове 569 кг биомасса разновозрастных рыб в оз. Лача (345 км<sup>2</sup>) составила 2760 т, в среднем 80 кг на один гектар в целом по озеру.

Основной промысловой рыбой в Лаче является лещ. Анализ размерно-возрастной структуры его популяции показал, что в 2008 г. в уловах встречались лещи размером от 26 до 50 см, возраст которых варьировал от 7 до 21 года. Основу уловов составляли особи в возрасте от 8 до 14 лет. По данным массовых промеров, средняя промысловая длина леща (из нерестовой части стада) составила 36,1 см. В период с 2004 по 2008 гг. размерно-возрастная структура стада леща остаётся стабильной, а численность его промыслового стада высокой. При существующем режиме промысла из водоема изымаются преимущественно крупный лещ (массой более 1 кг), щука, судак, а запасы плотвы, окуня и густеры практически не используются. Маломерный (до 25 см) и средний лещ на 50% поражен лигулезом. В естественных водоемах борьба с гельминтами у рыб довольно сложна. В условиях оз. Лача одним основным методом борьбы с лигулезом является мелиоративный отлов мелкого и среднего леща.

Озеро Лача является высококормным водоемом. На основании экспертной оценки сведений по состоянию природной среды водоема, многолетних данных по интенсивности промышленного и любительского рыболовства и имеющихся у нас биологических материалов ОДУ на вылов рыбы в озере Лача на 2010 г оценивается 200 т, из них леща 100, щуки 10, язя 5, судака 3, налима 15, окуня 30, плотвы 30, ерша 7. Современный учтенный вылов рыбы не превышает 20% от прогнозной величины. В оз. Лача численность стад промысловых рыб, кроме щуки, высокая, в связи с этим первоочередной задачей является увеличение интенсивности промышленного и любительского рыболовства на водоеме. В целях восстановления запасов щуки рекомендуется построить в устье р. Тихманьга пункт по искусственному рыборазведению. Для получения рыбоводного эффекта в количестве 10 т товарной щуки необходимо инкубировать не менее 5 млн. штук икры.

#### Определение площади зарастания водоема, необходимой для обеспечения оптимальных промысловых уловов рыбы

Высшая водная растительность оз. Лача исследовалась в 1925, 1942, 1969, 1973 и 1983 гг. (Газе, 1934; Распопов, 1978, 1985, 2005). Во флоре озера зарегистрированы 37 видов гидрофитов, из которых 17 воздушно-водных, 14 погруженных и 6 видов растений с плавающими листьями. Основным аспектом в растительном покрове создают группировки тростника обыкновенного (*Phragmites australis* Trin. ex Steud.), камыша озерного (*Scirpus lacustris* L.), рдеста пронзеннолистного (*Potamogeton perfoliatus* L.) и урути колосистой (*Myriophyllum spicatum* L.). На протяжении 60 лет растительный покров на водоеме год от года увеличивается. При этом сильно зарастает западное побережье, южная и северная части озера, а восточное побережье и центральная часть водоема зарастают слабо. Около 170 км<sup>2</sup> его площади покрыты группировками макрофитов.

Водная растительность и населяющие её гидробионты в значительной мере определяют рыбопродуктивность любого водоема. С целью выяснения значения зарослей как кормового биотопа проведены наблюдения за периодичностью и интенсивностью кормовых миграций рыб в оз. Лача. Орудия лова устанавливались на границе зарослей, осматривались через 2–3 часа и фиксировалось направление движения рыбы в момент объеживания. Выяснилось, что перемещение рыб в период кормовых миграций в зоне макрофитов подчиняется некоторой закономерности. Так, в ночное время молодь леща (83% пойманных рыб) кормилась в зарослях, а в утренние часы мигрировала в открытую часть озера. Окунь (87%) и плотва (100%) двигались наоборот, из озера в траву, где питались в течение светового дня. Равномерное использование одних и тех же пастбищных площадей разными видами рыб приводит к снижению межвидовой конкуренции и более полному использованию кормовой базы. Аналогичные данные получены и при изучении миграций рыб в озерах Калининградской области (Герасимов, 1983).

Подавляющее большинство обитающих в оз. Лача рыб являются весенне-нерестующими видами. Заросли макрофитов для них играют ведущую роль в воспроизводстве, выступая в качестве нерестового субстрата. При этом следует иметь в виду, что нерестилищами для частиковых рыб являются в основном прибрежные участки, заросшие тростником, и залитая луговая растительность. Группировки рдеста пронзеннолистного и урути, занимающие почти половину площади зарослей, в процессе воспроизводства рыб существенной роли не играют, но после выклева личинок служат надежным убежищем для молоди всех видов рыб, а также местом нагула и взрослых особей.

Процесс зарастания оз. Лача продолжает прогрессировать и во избежание дальнейшего усугубления ситуации он должен быть приостановлен или стабилизирован на определенном уровне. В этой связи нужно дать конкретный ответ, где и какое количество водной растительности можно убрать из водоема без ущерба для нормального функционирования экосистемы. Или, иными словами, необходимо определить то минимальное количество макрофитов, которое позволило бы использовать продуктивность экосистемы в оптимальном режиме. При планируемом получении максимально возможной рыбной продукции должны соблюдаться, во-первых, благоприятные условия воспроизводства всех видов рыб, а, во-вторых, оптимальная обеспеченность их кормом.

Потенциальная рыбопродуктивность оз. Лача составляет в среднем 10 кг/га, что соответствует возможному вылову в объеме 350 т (Фадеева, 1981). Чтобы получить такое количество рыбы, при кормовом коэффициенте 7 (Лапицкий, 1970), потребуется 2450 т кормовых организмов. Для продуцирования этого количества корма необходима площадь 7,8 тыс. га. Учитывая роль макрофитов как биофильтра, поступающих с водосбора биогенных элементов, целесообразно оставить их в



местах впадения притоков в оз. Лача в количестве 20% указанной выше площади. Расчетным путем установлено, что экосистема озера будет функционировать на высоком продукционном уровне, если 40% (6,7 тыс. га) зарослей будет расчищено с удалением корневой системы.

#### Технический метод удаления макрофитов

Удаление растительности возможно двумя путями: методом использования земснарядов и при помощи драгирования дна. При этом нужно иметь в виду, что мягкая водная растительность имеет различные периоды роста. Осенью в конце вегетационного роста большинство растений отмирают, а на дне озера остается корневая система, дающая весной новый рост вегетационных побегов. В связи с этим работы должны проводиться в летний период, когда на водной поверхности появятся густые заросли так называемой шальги. Необходимым условием эффективности проводимых работ является обязательное удаление из грунта корневой системы макрофитов.

Как уже сообщалось выше, оз. Лача является мелководным водоемом с преобладающими глубинами 1,5–2,0 м. Мощность илового горизонта в стратиграфическом разрезе колеблется от 2 до 4 м. Площадное распределение ила закономерно, наибольшие мощности его находятся в центральных районах озера. При таком характере распределения мелкоалевритовых илов любое механическое воздействие на грунт приведет к нарушению условий равновесия и смешиванию двух сред. В результате взмучивания верхних слоев донных отложений неизбежно повысится концентрация биогенов в воде, что приведет к вторичному загрязнению водной среды. Учитывая это обстоятельство, при проведении дноуглубительных работ в районе устья р. Лекшмы рекомендуется применение земснаряда, осуществляющего отсос грунта и последующий дам্পинг на берег.

Согласно нашему расчету, 6,7 тыс. га зарослей макрофитов должно быть очищено с удалением корневой системы. Такой колоссальный объем работы выполнить достаточно сложно. Взяв за основу наши рекомендации, в 1991 г. специалисты малого предприятия «Экология» (г. Нижний Новгород) провели изыскательские работы и подготовили технический отчет о проведении гидротехнических и дноуглубительных работ. Площадка выбрана в северо-западной части оз. Лача, протяженность ее 12 км от р. Лекшмы до мыса Сосновец. Берег здесь низкий, заболоченный, изрезан притоками и затапливается в паводок. Отметок инженерных коммуникаций в зоне производства работ нет. Заказчиком проекта был Архангельской рыбокомбинат, который в те годы вел промышленный лов рыбы в оз. Лача.

В соответствии с техническим заданием на проектирование на первом этапе гидротехнических работ предложено очистить от макрофитов 203 га водной поверхности, что составляет только 3% рекомендуемой к удалению площади зарослей. После разработки проекта прошло почти лет. За истекший период экологическая обстановка на оз. Лача существенно не изменилась. Проведя незначительную корректировку, имеющуюся проектно-сметную документацию можно рекомендовать для согласования с природоохранными организациями.

#### **Заключение**

Озеро Лача является рыбопродуктивным водоемом, где без подрыва запасов можно вылавливать ежегодно 200 т рыбы, из них 100 т леща. Анализ современной ситуации в рыбохозяйственном комплексе показал, что рыбные ресурсы озера используются нерационально. Предприниматели и рыбаки-любители добывают только ценную рыбу, имеющую высокую коммерческую стоимость. Водоем перенаселен маломерным лещем, пораженным лигулезом.

Среди крупных водоемов Северо-Запада России оз. Лача является самым заросшим. Процесс зарастания озера прогрессирует и во избежание дальнейшего усугубления ситуации он должен быть приостановлен или стабилизирован на определенном уровне. Экосистема оз. Лача будет функционировать на высоком продукционном уровне, если 40% (6,7 тыс. га) общей площади зарастаний будет расчищено с удалением корневой системы.

С учетом современного экономического положения в рыбной отрасли конкретные предложения по улучшению экологической обстановки и восстановлению рыбохозяйственного значения оз. Лача будут следующими:

– для отработки методики удаления макрофитов гидромеханизированным способом рекомендуется провести дноуглубительные работы в устье р. Лекшмы на площади 203 га;

- в качестве профилактических мер в течение 5 лет ежегодно вылавливать неводами не менее 30 т лигулезного леща. Большая рыба реализуется на свинофермы для корма животных;
- в летний период регулярно проводить мелиоративный лов ерша (20 т), плотвы (15 т) и мелкого окуня (10 т).

### Литература

- Газе О.Ф., 1934. Окрестности озера Лача (Северный край) в геоботаническом отношении // Ботанический журн. СССР. Т.19, № 2. С. 173–186.
- Герасимов Ю.В., 1983. Условия нагула бентосоядных рыб в зоне зарослей макрофитов озер: Автореферат дис. ... канд. биол. наук. М.: Ин-т. эволюционной морфологии и экологии животных им. А.Н. Северцова. 24с.
- Гидробиология озер Воже и Лача (в связи с прогнозом качества вод, перебрасываемых на юг). 1978. Л.: Наука. 276с.
- Гидрология озер Воже и Лача (в связи с переброской северных вод в бассейн р. Волги). 1979. Л.: Наука. 288с.
- Денисов Л.И., 1978. Рыболовство на водохранилищах. М.: Изд-во «Пищ. пром-ть». 286 с.
- Лапицкий И.И., 1970. Оценка рыбопродуктивности по кормовой базе. Направленное формирование ихтиофауны и управление численностью популяций рыб в Цимлянском водохранилище. Волгоград. 279с.
- Михайлов Ю.Д., Андроникова И.Н., Власов В.П. и др. Оценка возможных изменений в экосистеме озера Лача при переброске стока из Онежской губы Белого моря /Деп. ВИНТИ 26.02.88. 2052-В. 26 с.
- Распопов И.М., 1978. Высшая водная растительность озер Воже и Лача //Гидробиология озер Воже и Лача. Л.: Наука. С. 12–27.
- Распопов И.М., 1985. Высшая водная растительность больших озер Северо-Запада СССР. Л.: Наука. 200с.
- Распопов И.М., 2005. Зарастаемость озера Лача //Экологическое состояние континентальных водоемов северных территорий. СПб.: Наука ВВМ. С. 186–192.
- Трещев А.И., 1983. Интенсивность рыболовства. М.: Легкая и пищ. пром-ть. 236 с.
- Чугунова Н.И., 1959. Руководство по изучению возраста и роста рыб. М.: Наука. 162 с.
- Фадеева Г.В., 1981. Зообентос крупных озер Европейского Севера и его использование рыбами (на примере озера Лача): Автореферат дис. ... канд. биол. наук. Л.: ГосНИОРХ. 26 с.

## RECOMMENDATIONS ON FISH STOCKS USE OF LACHA LAKE IN STRONG MACROPHYT OBLITERATION CONDITIONS

**A.K. Kozmin**

Knipovich Polar Research Institute of Marine Fishery and Oceanography, Northern Branch of PINRO, Arkhangelsk, e-mail: kozmin@sevpinro.ru

The lake Lacha is important fishery district in the north of the European part of Russia. Its area is near 345 km<sup>2</sup>. The shallowness is a specific feature of the lake Lacha. Average depth of it is 1,3 m. The water area near 170 km<sup>2</sup> is covered by macrophyte. In order to prevent the further aggravation of a situation it should be suspended or stabilized at the certain level. It was studied that ecosystem of the lake Lacha will function on high production level, if 44 % (7,3 thousand hectare) of the general area will be cleared from macrophyte.

The fish community of this lake consists of 12 kinds of fish species, the most numerous are bream, pike, ide and perch. The average fishproductivity of the lake is 10 kg/hectare. During the last 5 years commercial catch does not exceed 30 ton while probable catch is estimated as 220 ton. Fisheries catch mainly high commercial species – large bream, pike, burbot and perch. Other fishes practically are not used. The lake is overpopulated by young bream. A high food competition caused the domination of the population of slow growing bream. 50–70% of fish are infected by parasites (*Ligula intestinalis*). As preventive measure it is recommended to catch 30 ton of infected bream every year during the next 5 years.

# КРИОФАУНА ЛЬДОВ ПРОЛИВА ВЕЛИКАЯ САЛМА КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ

Е.Г. Колосова, Л.В. Ильяш

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, г. Москва, Россия

e-mail: Piyashl@mail.ru

Однолетние льды играют важнейшую роль в цикле углерода полярных экосистем. Фауна прибрежных льдов Белого моря изучена недостаточно и содержит сведения только о ранне-весеннем периоде (Кособокова и др. 2003; Сажин и др., 2005; 2007; Sazhin, 2004), в то время как ледовый сезон длится с конца ноября до середины мая. За это время физико-химические параметры ледового биотопа претерпевают существенные изменения.

Таблица 1

Состав фауны во льду, в подледном слое воды и в столбе воды от дна до нижней кромки льда

Таксон	Лед	Вода	
		слой 0–0.5м	слой 0–6м
<b>Tintinnida</b>			
<i>Tintinnopsis beroidea</i> Stein, 1867	+	+	
<i>Tintinnopsis fimbriata</i> Meunier, 1910	+	+	
<i>Tintinnopsis parvula</i> Jorgensen, 1912		+	
<i>Parafavella denticulata</i> (Ehrenberg, 1840)	+	+	+
<b>Hydromedusae</b>			
<i>Obelia longissima</i> (Pallas, 1766)			+
<i>Aglantha digitale</i> (Muller, 1766)			+
<b>Nematoda sp.</b>	+		
<b>Rotatoria</b>			
<i>Keratella quadrata quadrata</i> (Muller, 1786)	+		
<i>Keratella cochlearis</i> (Gosse, 1851)	+		
<i>Synchaeta hyperborea</i> N. Smirnov, 1932	+		
<i>Euchlanis dilatata</i> Ehrenberg, 1832	+		
<i>Trichocerca marina</i> (Daday, 1891)	+		
<b>Polychaeta</b>			
Polychaeta larvae	+		+
<b>Copepoda</b>			
<b>Calanoida</b>			
<i>Calanus glacialis</i> Jaschnov, 1955			+
<i>Pseudocalanus minutus</i> (Kroyer, 1848)	+	+	+
<i>Acartia longiremis</i> (Lilljeborg, 1853)	+		+
<b>Cyclopoida</b>			
<i>Oithona similis</i> Claus, 1866	+	+	+
<i>Oncaea borealis</i> Sars, 1918	+	+	+
<b>Harpacticoida</b>			
<i>Tisbe furcata</i> (Baird, 1850)	+	+	+
<i>Tisbe minor</i> (T. et A. Scott, 1896)	+		+
<i>Microsetella norvegica</i> (Boeck, 1864)	+	+	+
Copepoda nauplii	+	+	+
<b>Cirripedia</b>			
Cirripedia nauplii	+		+
<b>Gastropoda</b>			
<b>Pteropoda</b>			
<i>Limacina htlicina</i> Phipps, 1774			+
<i>Clione limacina</i> Phipps, 1774	+		+
Gastropoda larvae	+	+	+
<b>Chaetognatha</b>			
<i>Parasagitta elegans</i> Verrill, 1873			+
<b>Ova varia</b>	+	+	+
К-во видов	22	12	19

В настоящей работе представлены сведения о динамике видового состава фауны прибрежных льдов Белого моря с января по апрель.

Пробы льда и подледной воды отбирали у биостанции Московского государственного университета в январе – апреле 1997г. на разрезе от берега к центру пролива Великая Салма (Кандалакшский залив Белого моря) на постоянных точках, расположенных на расстоянии 10м друг от друга. Ледовые керны брали с помощью SPIRE-бура с внутренним диаметром 18см. Каждый керн делили на верхнюю и нижнюю части и растапливали при комнатной температуре. Растопленный лед и пробы подледной воды (10л) концентрировали методом обратной фильтрации и фиксировали 2% формалином. Сетные пробы собирали от дна до поверхности на ст.2 (глубина 4м) большой сетью Джеди с площадью входного отверстия 0,1м<sup>2</sup> и ячейй фильтрующего конуса 180мкм. Материал фиксировали 4% формалином. Все пробы просчитывали тотально. Большинство организмов определяли до вида, у копепоид учитывали стадии развития. У всех организмов измеряли длину тела.

В исследуемый период непосредственно во льду было найдено 22 таксономические единицы фауны; в воде, подстилающей нижнюю кромку льда – 12 видов, и 19 – в столбе воды от дна до поверхности (табл. 1). Отличительной особенностью ледового биоценоза является присутствие нематод, которые не встречались ни в подледной воде, ни в планктоне.

Относительное высокое видовое разнообразие характерно и для других арктических и субарктических районов (Carey, Montagna, 1982; Cross, 1982; Friedrich, 1997; Gradinger et al., 1991; Kern, Carey, 1983).

Количество видов в нижнем слое льда было всегда больше, чем в верхнем (табл.2). В подстилающей лед воде обитало в совокупности вдвое меньше видов, чем во льду. В столбе воды по данным сетных ловов видовое богатство было несколько больше, чем в подледном слое и сопоставимо с таковым в нижнем слое льда.

Нижний слой льда, представляет собой сложную систему изолированных друг от друга капилляров, диаметр которых изменяется от 5 мкм до 1мм, при среднем значении 250 мкм, а высота составляет несколько сантиметров (Lake, Lewis 1970; Weissenberger et al., 1992). Таких капилляров под 1м<sup>2</sup> может быть до  $4,2 \cdot 10^5$ . Кроме них в толще льда существуют каналы стока, диаметр и высота которых больше, чем у капилляров. Смерзание нижней поверхности льда может вести к неселективному включению в лед организмов подледного слоя воды (Мельников, 1989). Активная же колонизация льда возможна только теми животными, поперечное сечение тела которых не превышает размеры свободных пространств во льду. Согласно литературным данным, ширина тела у инфузорий, коловраток, науплиев и микросетеллы составляла 35 – 100 мкм, у нематод – 20 – 25 мкм, у личинок полихет, копепоид *Pseudocalanus minutus*, *Acartia longiremis*, *Oithona similis*, *Oncaea borealis*, *Tisbe furcata* и *T. minor* – от 100 до 250 мкм (Бурковский и др., 1974; Корнев, Чертопруд, 2008; Перцова, 1970; Bartos, 1959). Таким образом, поперечное сечение тела всех обнаруженных животных во льду не превышает возможный диаметр капилляров и каналов в ледовом биотопе. Организмы, обнаруженные только в воде, – медузы *Obelia longissima*, *Aglantha digitale*, копепода *Calanus glacialis* и хетогната *Parasagitta elegans* являются достаточно крупными, и проникнуть в лед в силу своих размеров не могли. Размеры птероподы *Limacina helicina* также превышают диаметр ледовых капилляров и каналов. Копепода *Calanus glacialis* отмечалась в ледовых биотопах в других арктических районах (Werner, Arbizu, 1999), птеропода *Limacina helicina* встречена во льдах моря Лаптевых и Канадской Арктики (Hsiao et al., 1984; Werner, Arbizu, 1999), что могло быть результатом их неселективного включения в лед. Анализ опубликованных данных по составу арктической криофауны показал, что *Tintinnopsis beroidea*, *Parafavella denticulata*, *Keratella cochlearis*, *Keratella quadrata quadrata*, *Euchlanis dilatata*, *Trichocerca marina* и *Tisbe minor* в ледовом биотопе зарегистрированы впервые. Однако не следует исключать и возможность того, что эти животные ранее не были определены до вида.

С января по апрель число видов, обитающих во льду, достигало минимума в середине февраля, затем постепенно возрастало до конца апреля. Изменения видового состава в верхнем и нижнем слоях льда происходили следующим образом. В январе и феврале в верхнем слое количество видов было низким. Это науплии Copepoda, копепоиды *Oithona* и *Pseudocalanus minutus*, инфузория *Parafavella denticulata*. В марте к ним добавились *Microsetella norvegica*, *Oncaea borealis* и *Tisbe minor*. В апреле видовой состав верхнего слоя льда продолжал пополняться. Появились нематоды, *Tintinnopsis beroidea*, *Synchaeta hyperborea* и *Tisbe furcata*. В нижнем слое льда состав обитателей

его был более разнообразен, и до первой декады апреля число видов превышало таковое в верхнем слое льда. В январе и феврале кроме науплиев Copepoda, *Parafavella denticulata* и копепоидов *Oithona*, обитавших и в верхнем слое льда, в нижнем слое встречены инфузория *Tintinnopsis fimbriata*, коловратки *Synchaeta hyperborea*, *Keratella quadrata quadrata*, *K. kochlearis*, харпактикоиды *Microsetella norvegica* и *Tisbe furcata*, личинки гастропод и нематоды. В марте наряду с копепоидами *Pseudocalanus minutus* появились копепоиды и взрослые стадии *Oncaea borealis*. К харпактикоидам добавилась *Tisbe minor*. Кроме пелагических личинок гастропод появились личинки полихет. Из коловраток присутствовала *Synchaeta hyperborea*. В апреле кроме видов, встреченных в верхнем слое льда, появились науплии Cirripedia, коловратки *Keratella quadrata quadrata*, *K. kochlearis*, *Euchlanis dilatata*, *Trichocerca marina* и, находящаяся на ранней стадии развития *Clione limacina*.

Таблица 2

**Представители фауны, встреченные в верхнем и нижнем слоях льда  
(данные обобщены по пяти кернам)**

		19.01	7.02	17.03	13.04	21.04
<i>Tintinnopsis beroidea</i>	верх					
	низ					
<i>Tintinnopsis fimbriata</i>	верх					
	низ					
<i>Paravavella denticulata</i>	верх					
	низ					
Nematoda	верх					
	низ					
<i>Keratella quadrata quadrata</i>	верх					
	низ					
<i>Keratella cochlearis</i>	верх					
	низ					
<i>Synchaeta hyperborea</i>	верх					
	низ					
<i>Euchlanis dilatata</i>	верх					
	низ					
<i>Trichocerca marina</i>	верх					
	низ					
<i>Polychaeta larvae</i>	верх					
	низ					
<i>Pseudocalanus minutus</i>	верх					
	низ					
<i>Acartia longiremis</i>	верх					
	низ					
<i>Oinhona similis</i>	верх					
	низ					
<i>Oncaea borealis</i>	верх					
	низ					
<i>Tisbe furcata</i>	верх					
	низ					
<i>Tisbe minor</i>	верх					
	низ					
<i>Microsetella norvegica</i>	верх					
	низ					
nauplii Copepoda	верх					
	низ					
nauplii Cirripedia	верх					
	низ					
<i>Clione limacina</i>	верх					
	низ					
Gastropoda larvae	верх					
	низ					
Ova	верх					

В столбе воды число видов также увеличивалось с января по апрель. Число же видов в подледном слое, наоборот, уменьшалось. Видовой состав фауны, обитающей в толще льда и в воде, достоверно не отличался.

Одной из характерных особенностей фауны прибрежных льдов является присутствие нематод, что отмечалось ранее и другими авторами (Grainger et al., 1985; Cross, 1982; Nozais et al., 2001). Мы не определяли их видовую принадлежность. Во льдах Белого моря отмечены такие виды как *Cryonema crassum* Tchesunov et Riemann, *C. tenue* Tchesunov et Riemann, *Theristus melnikovi* Tchesunov и *Hieminema obliquorum* (Чесунов, Портнова, 2005, Чесунов, 2006). Аналогично, в прибрежных льдах северной части моря Баффина обнаружены три вида нематод надсемейства Monhysteroida: *Cryonema tenue*, *Theristus melnikovi* и нематода, соответствующая описанию Monhysterid sp. «alpha» (Nozais et al., 2001). В планктоне нематоды не встречались. Механизмы их попадания в ледовый биотоп до настоящего времени не до конца выяснены (Чесунов, 2006).

Животные населяли как нижний, так и верхний слой льда, хотя число видов в нижнем слое было всегда больше, чем в верхнем. Присутствие довольно разнообразной фауны в верхнем слое льда согласуется с результатами исследований в других арктических районах, например в море Лаптевых, Баренцевом и Гренландском морях (Friedrich, 1997; Gradinger et al., 1999). Напротив, во льдах северной части моря Баффина мейофауна обнаружена только в нижнем двухсантиметровом слое льда (Nozais et al., 2001).

Видовой состав фауны, обитающей в толще льда и в воде, достоверно не отличался. В воде (в подледном слое и в столбе воды) найдено 22 таксономические единицы зоопланктона, большинство из которых характерно для зимнего и ранне-весеннего зоопланктона Белого моря (Кособокова и др., 2003; Перцова, 1970). В течение ледового сезона число видов во льду и в воде возрастало.

Авторы выражают благодарность д.б.н. И.А.Мельникову за сбор и представление ледовых проб.

#### Литература

- Бурковский И.В., Замышляк Е.А и Поскрякова Н.П. 1974. Ревизия фауны Tintinnida (Ciliata) Белого моря // Зоол. журн. Т. LIII, вып. 12. С.1757–1766.
- Корнев П.Н., Чертопруд Е.С. 2008. Веслоногие ракообразные отряда Harpacticoida Белого моря. М.: Тов. научн. изд. КМК. 379с.
- Кособокова К.Н., Ратькова Т.Н., Сажин А.Ф. 2002. Ранне-весенний зоопланктон подо льдом губы Чула (Белое море) // Океанология. 2003. т. 43, № 5. С. 734–743.
- Мельников И.А. 1989. Экосистема арктического морского льда. М.: ИОАН СССР. 191 с.
- Перцова Н.М. 1970. Зоопланктон Канда拉克шского залива Белого моря // «Биология Белого моря». Тр.ББС МГУ. Т.3. С. 34–45.
- Сажин А.Ф., Ратькова Т.Н., Кособокова К.Н. 2005. Население прибрежного льда Белого моря в ранне-весенний период // Океанология. Т. 44, № 1. С.92–100.
- Сажин А.Ф., Ратькова Т.Н., Шевченко В.П., Романова Н.Д. 2007. Население весеннего льда Белого моря в устьевой зоне Северной Двины // Геология морей и океанов: Материалы XYP Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. III. М.: ГЕОС. С. 279–281.
- Чесунов А.В., Портнова В.А. 2005. Свободноживущие нематоды в сезонном прибрежном льду Белого моря. Описание *Hieminema obliquorum* gen. et sp. n. (Nematoda, Monhysterioidea) // Зоол. журн. Т. 84, № 8. С.899–914.
- Чесунов А.В. 2006. Биология морских нематод. М.: Тов.научн. изд. КМК. 367с.
- Bartos E. 1959. Virnici – Rotatoria. Fauna CSR. Praha: Nark. Cesk. Ak. 969 p.
- Carey A.G., Montagna P.A. 1982. Arctic sea ice faunal assemblage: First approach to description and source of the underside meiofauna. // Mar. Ecol. Progr. Ser. 8. P. 1–8.
- Cross W.E. 1982. Under-ice biota at the Pond Inlet ice edge and adjacent fast ice areas during spring // Arctic. Vol. 35. P.13–27.
- Friedrich C. 1997. Ecological investigations on the fauna of the Arctic sea-ice // Rep. Polar. Res. Vol. 246. P.1–211.
- Gradinger R., Friedrich C., Spindler M. 1999. Abundance, biomass and composition of the sea ice biota of the Greenland Sea pack ice // Deep-Sea Res. Part II. Top. Stud. Oceanogr. Vol. 46. P.1457–1472.
- Gradinger R., Spindler M., Henschel D. 1991. Development of Arctic sea-ice organisms under graded snow cover // Polar Res. Vol. 10. P.295–307.
- Grainger E.H., Mohammed A.A., Lovrity J.E. 1985. The sea ice fauna of Frobisher Bay, Arctic Canada // Arctic. Vol. 38. P. 23–20.

Hsiao S.I.C., Pinkewycz N., Mohammed A.A., Grainger E.H. 1984. Sea ice biota and under-ice plankton from southeastern Hudson Bay in 1983 // *Can. Data Rep. Fish. Aquat. Sci.* Vol. 494. P. 1–49.

Kern J.C., Carey A.G. 1983. The faunal assemblage inhabiting seasonal sea ice in the nearshore Arctic Ocean with emphasis on copepods // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* Vol. 10. P. 159–167.

Lake R.A., Lewis E.L. 1970. Salt rejection by sea-ice during growth // *J. Geoph. Res.* Vol. 75, № 3. P. 583–597.

Nozais C., Gosselin M., Michel C., Tita G. 2001. Abundance, biomass, composition and grazing impact of the sea-ice meiofauna in the North Water, northern Baffin Bay // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* V. 217. P. 235–250.

Sazhin A. 2004. Phototrophic and heterotrophic nano- and microorganisms of sea ice and sub-ice water in Guba Chupa (Chupa Inlet), White Sea, in April 2002 // *Polar Res.* Vol. 23. P. 11–18.

Schnack-Schiel S.B., Dieckmann G.S., Gradinger R., Melnikov I., Spindler M., Thomas D.N. 2001. Meiofauna in sea ice of the Weddell Sea (Antarctica) // *Polar Biol.* Vol. 24. P. 724–728.

Weissenberger J., Dieckmann G., Gradinger R., Spindler M. 1992. Sea ice: a cast technique to examine and analyze brine pockets and channel structure // *Limnol. Oceanogr.* Vol. 37. P. 179–183.

Werner I., Arbizu P.M. 1999. The sub-ice fauna of the Laptev Sea and the adjacent Arctic Ocean in summer 1995 // *Polar Biol.* Vol. 21. P. 71–79.

## **СРАВНИТЕЛЬНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РТУТИ В МЫШЦАХ РЫБ ВОДОЕМОВ СЕВЕРА ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ (КАНДАЛАКШСКИЙ ЗАЛИВ БЕЛОГО МОРЯ)**

**В.Т.Комов<sup>1</sup>, В.А.Гремячих<sup>1</sup>, П.Н. Ершов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Учреждение Российской академии наук Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Ярославская обл., Россия

<sup>2</sup>Учреждение Российской академии наук Зоологический институт РАН,  
г. Санкт-Петербург, e-mail: vkomov@ibiw.yaroslavl.ru

Уровень глобального и диффузного антропогенного загрязнения ртутью водных экосистем суши по сравнению с морскими значительно выше, что, в частности, объясняется их меньшими размерами [Мур, 1987]. Лучше изучены и факторы, способствующие процессам накопления ртути пресноводными рыбами. К ним относятся как абиотические характеристики водных экосистем – низкие значения pH и высокие цветности воды, повышенное содержание органического вещества, малая площадь озер и высокая степень заболоченности водосборного бассейна [Haines et al., 1982; Watras et al, 1998; Bodaly et al., 1993; Greenfield et. al., 2001], так и биотические – хищный способ питания, низкие темпы роста рыб, преобладание в экосистеме озера гетеротрофных организмов над автотрофными [Cabana and Rasmussen, 1994; Verta et. al., 1986; Степанова, Комов, 2004].

О масштабах накопления ртути морскими гидробионтами можно судить по отдельным встречающимся в литературе данным, как правило, несистематизированным таксономически; по возрасту, размеру и полу рыб; их трофическому уровню и условиям обитания. Возможно, причиной тому не только устоявшееся мнение о меньшей степени загрязнения морских экосистем. С повышением солености воды снижается интенсивность метилирования ртути в результате образования устойчивых ковалентных соединений с ионами хлора. А ведь именно органические формы ртути в первую очередь поглощаются рыбами и другими видами гидробионтов.

Однако однозначно утверждать, что уровни накопления ртути пресноводными рыбами выше, чем морскими, не позволяет значительная вариабельность имеющихся в литературе данных. Содержание ртути в мышцах пресноводных рыб колеблется в очень широких пределах: у окуня из Рыбинского водохранилища – 0,03–0,46 [Комов и др., 2004]; окуня из рек и озер штата Юта (США) – 7,3 [Комаровский, 1981]; щуки р. Иинцу (Япония) – 1,0–6,0 [Комаровский, 1981]; щуки и налима оз. Онтарио (Канада) – более 27 мг/кг сырой массы [Комаровский, 1981]. Минимальные и средние значения содержания ртути в мышечной ткани морских рыб совпадают с аналогичными показателями у пресноводных, максимальные – ниже: у сардин с побережья Средиземного моря (Тунис) – 0,19–0,41 [Joiris, 1999] тунца с побережья Атлантического океана (северо-запад Флориды) – 0,11–0,88 [Rider, 2000]; тунца из Адриатического моря – 0,58 [Комаровский, 1981], из Средиземного – 1,33 [Комаровский, 1981], представителей камбалообразных, мегрима и цитаруса, – 2,8 и 5,4 мг/кг сырой массы, соответственно [Barghigiani, 1994].

Цель настоящей работы – сравнить уровни накопления ртути морскими и пресноводными рыбами из одного, ограниченного географического региона, при условии, что выбранные водоемы по основным гидрохимическим и биотическим показателям будут различаться минимально, так же как и тестируемые виды рыб по особенностям биологии и трофическому уровню. Т.о. мы попытались ограничить вклад прочих (помимо солености) факторов, влияющих на процесс накопления ртути рыбой.

Отлов морской рыбы производили на севере Европейской России (субполярный географический пояс) в губе Чупа Кандалакшского залива Белого моря, пресноводной – в двух малых озерах бассейна губы Чупа: Круглого и Кривого, расположенных на расстоянии 0,5 км друг от друга. Основные характеристики водоемов приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Основные характеристики водоемов\*, в которых производили отлов рыбы**

Характеристики	губа Чупа Кандалакшский залив Белого моря	оз. Кривое	оз. Круглое
Площадь, км <sup>2</sup>	650	0,5	0,1
Длина, км	37 – в широтном направлении	1,8	0,8
Ширина, км	1,5	0,45	0,15
Глубина, м	20 – сред. 66 – макс.	11,7 – сред. 30 – макс.	прибрежье – 1–1,5 , центр – 3,5–4
Грунт		Песок, глина, ил. Беден органическим веществом	Коричневый ил Богат органическим веществом
рН	>8	6,6–7,4	5,9–6,7
Цветность, °		25	122–129
Соленость, ‰	14,5–26,9 – на поверхности. 25,4–30,4 – на глубине		
Температура	не выше 2° – среднегодовая.	Низкие в течение всего года.	Низкие в течение всего года.
Биомасса бактерио- планктона, мг/м <sup>3</sup>	657-прибрежье. 602-открытые р-ны (высокая)	(низкая)	(низкая)
Биомасса фито- планктона, мг/м <sup>3</sup>	232	104 (низкая)	289 (низкая)
Биомасса зоо- планктона, г/м <sup>3</sup>	0,14–0,26	0,37 (низкая)	0,85 (низкая)
Ихтиофауна (число видов)	56–57	7	1
Трофность	I класс трофности (типично олиготрофное)	Типично олиготрофное	Олиготрофное с признаками дистроф-ного водоема

\*данные приведены по [Биологическая продуктивность..., 1975]

Изучали содержание ртути в мышцах европейского керчака *Mухосерphalus skorpius* и окуня *Perca fluviatilis*. Выбранные виды рыб имеют сходство по ряду признаков. Средние размеры европейского керчака – 25см. Эта донная, малоподвижная рыба встречается на глубине 25–60м, летом чаще вблизи берега. Питается ракообразными, икрой, мальками рыб и мелкой рыбой. Средние размеры обыкновенного окуня – 15–30см. Один из наиболее оседлых, малоподвижных представителей пресноводных рыб, встречается на глубине до 50 м, придерживается мелководий и прочих тихих мест. В первые годы жизни питается ракообразными, к 4–6 годам – полноценный хищник.

Отлов рыбы, отбор проб и их хранение, а также анализ содержания в них ртути проводили по ранее описанной методике [Комов и др., 2004]. Результаты обрабатывали статистически, с использованием метода дисперсионного анализа (ANOVA) и процедуры LSD-теста при уровне значимости  $p < 0.05$ . Статистический анализ проводили с помощью пакета программ STATGRAPHICS Plus 2.1.

Содержание ртути в мышцах европейского керчака варьировало в пределах от 0,03 до 0,2, окуня обыкновенного – от 0,1 до 0,35 мг/кг сырой массы. Средние значения показателя по выборкам приведены в таблице 2. Все рыбы относились к одной возрастной группе: 2–3 года.



**Морфометрические показатели и содержание ртути в мышцах рыб водоемов севера Европейской России**

Водоём	n	Вес, г	L <sub>1</sub> , см	L <sub>2</sub> , см	Содержание Hg, мг/кг сырой массы
оз. Кривое	19	109,6±19,8	17,4±1,0	18,7±1,0	0,21±0,02
оз. Круглое	21	45,6±2,7	129,4±48,6	15,6±0,4	0,14±0,01
губа Чупа	10	129,4±48,6	–	19,0±2,1	0,07±0,01

Ранее выявлено, что в мышечной ткани окуня с большой массой тела не всегда наблюдается более высокое содержание ртути по сравнению с рыбой небольшого размера и веса [Степанова, 1997]. Как правило, связь между аккумуляцией металла и размерно-массовыми характеристиками рыб отсутствовала в тех водоемах, в которых масса пойманных рыб составляла <150 г. Средняя масса рыб в настоящем исследовании в основном не превышала этот уровень, что позволило избежать пересчета по приведению концентрации ртути в мышцах к определенной массе тела рыбы. Зависимость содержания ртути в мышцах от массы тела для керчака и окуня оз. Круглое оказалась положительной, статистически значимой ( $r = 0.42-0.92$ ,  $p < 0.05$ ), для окуня оз. Кривое – отрицательной и недостоверной ( $r = -0.17$ ,  $p < 0.5$ ).

Процессы накопления ртути рыбой из пресноводных водоемов подвержены воздействию слишком многих трудно учитываемых факторов. В двух рядом расположенных пресноводных озерах, содержание ртути в мышцах окуня выше в оз. Кривом, нежели в оз. Круглом. Несмотря на значительное сходство по своим гидрохимическим и биотическим характеристикам, озера различаются по типу грунта, степени мутности, цветности воды и разнообразия ихтиофауны. Вполне вероятно, что более низкое содержание ртути в окуне оз. Круглое связано не только с меньшими размерами рыб, но и с повышенной депонирующей способностью богатого органикой дна. Более высокое содержание ртути в окуне оз. Кривого в какой-то степени объясняет тот факт, что в нём обитает также и колюшка, сама накапливающая значительные количества ртути и являющаяся основной пищей хищников.

Несмотря на относительно крупные размеры керчака содержание ртути в его мышцах было ниже, чем в окуне из озер расположенных в бассейне г. Чупа. Процесс накопления металла в морской рыбе ограничивают, вероятно, помимо повышенной солености и щелочности воды, и более низкие среднегодовые температуры воды. И это несмотря на то, что Белое море – единственное море в Арктическом бассейне, которое можно назвать средиземным, так как оно имеет сравнительно слабый, ограниченный порогом водообмен с Северным Ледовитым океаном, и в формировании его гидрохимических параметров большую роль играет сток рек.

### Литература

- Белое море. Биологические ресурсы и проблемы их рационального использования. В серии: Исследования фауны морей. Вып.42 (50). Часть II. СПб. 1995.
- Биологическая продуктивность северных озер. Часть 1. Озера Кривое и Круглое. Ред. Г.Г. Винберг. Тр. Зоол. ин-та. Т. LXI. 1975. Л.: Наука. 228 с.
- Комаровский Ф.Я., Полищук Л.Р. Ртуть и другие тяжелые металлы в водной среде: миграции, накопление, токсичность для гидробионтов / Гидробиологический журнал. 1981. Т.XVII. № 5. С.71–83.
- Комов В.Т., Степанова И.К., Гремячих В.А. Содержание ртути в мышцах рыб из водоемов Северо-Запада России: причины интенсивного накопления и оценка негативного эффекта на состояние здоровья людей // Актуальные проблемы водной токсикологии. Борок. Ин-т биол. внутр. вод РАН. 2004. С.99–123.
- Мур Дж.В., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах. Москва: Мир. 1987. С.140–174.
- Степанова И.К., Комов В.Т. Накопление ртути в рыбе из водоемов Вологодской области // Экология. 1997. Т.28. №4. С. 196–202.
- Степанова И.К., Комов В.Т. Роль трофической структуры экосистем водоемов северо-запада России в накоплении ртути в рыбе // Гидробиол. журн. 2004. Т 40. № 2. С. 87–96.
- Стунжас П.А., Бородкин С.О. Гидрохимические критерии обмена поверхностных и глубинных вод Белого моря / Океанология. 2004. №2. С.189–198.
- Akielaszcz J.T., Heines T.A. Mercury in the muscle tissue of fish from three northern Main lakes / Bull.Environ. Contam. and Toxicol. 1981.V.21. №2. P.201–208.
- Barghigiani C., Ristori T. The Distribution of Mercury in a Mediterranean Area // In :Mercury pollution: integration and synthesis / Eds. Carl J. Watras, John W. Huckabee, Lewis Publishers. 1994. P. 41–49.

- Bodaly R.A., Rudd J.W.M., Fudge R.J.P. et al. Mercury concentrations in fish related to size of remote Canadian Shield lakes // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1993. V. 50. P. 980–987.
- Cabana G., Rasmussen J.B. Modeling food chain structure and contaminant bioaccumulation using stable nitrogen isotopes // Nature. 1994. V. 372. P. 255–257.
- Greenfield B.K., Hrabik T.R., Harvey C. J. et al. Predicting mercury levels in yellow perch: use of water chemistry, trophic ecology and spatial taints // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 2001. № 58. P. 1419–1429.
- Haines T.A., Komov V.T., Jagoe C.H. Lake acidity and mercury content of fish in Darwin National Reserve, Russia // Environ. Pollut. 1992. V. 78, P. 107–112.
- Joiris Claude R., Holsbeek Ludo, Moatemri Nejib Laroussi. Total and methylmercury in sardines *Sardinella aurita* and *Sardina pilchardus* from Tunisia / Marr. Pollut. Bull. 1999. V.38. №3. P.188–192.
- Rider Steven J., Adams Douglas H. Mercury concentrations in spotted seatrout (*Cynoscion nebulosus*) from northwest Florida / Gulf. Mex. Sci. 2000. V.18, №2, P. 97–103.
- Verta M., Rekolainen S., Kinnunen K. Causes of increased fish mercury levels in Finnish reservoirs // Publications of the Water Research Institute, National Board of Waters, Finland. 1986. V. 65. P. 44–58.
- Watras C.J., Back R.C., Halvorsen S. Bioaccumulation of mercury in pelagic fresh water food webs // Sci. Total Environ. 1998. V. 219. P. 183–208.

## ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НЕКОТОРЫХ КАРПОВЫХ РЫБ В ПРЕДНЕРЕСТОВЫЙ ПЕРИОД

**Н.И. Комова**

Учреждение Российской академии наук Институт биологии внутренних вод  
им. И.Д. Папанина РАН, Борок Ярославская обл., Россия  
e-mail: komova@ibiw.yaroslavl.ru

Важнейшим условием существования особей в популяции является их разнокачественность, обеспечивающая стабильность популяции в целом. Изучение распределения и изменчивости содержания липидов и отдельных липидных компонентов в различных органах и тканях рыб имеет большое значение для выявления их роли в адаптационных механизмах организма (Сидоров, Шатуновский, 1983), сохранения биоразнообразия водоемов (Шатуновский, 1998), а также для решения задач воспроизводства рыбных запасов. По достижении половозрелости все обменные процессы, происходящие в организме самок связаны со значительными затратами пластических и энергетических веществ на созревание ооцитов, тогда как у самцов затраты на генеративный обмен значительно ниже.

Цель данной работы состояла в сравнении изменчивости биохимических показателей органов и тканей карповых рыб перед нерестом. Исследования проведены на трех основных промысловых видах карповых рыб Рыбинского водохранилища – леще *Abramis brama*, плотве *Rutilus rutilus* и синце *Abramis ballerus*.

### Материал и методика

Материал собирали в течение двух лет в конце апреля – начале мая на речных и устьевых нерестилищах р. Сить, впадающей в Рыбинское водохранилище. Все рыбы имели гонады на IV стадии зрелости. Сравнивали выборки, состоящие из особей наиболее массовых размерно-возрастных групп, составляющих основу нерестового стада. Так, длина тела самок леща 330–420 мм и возраст 11–16 лет, а самцов – 300–400 мм и 10–16 лет, самок плотвы – 140–300 мм и 5–11 лет, а самцов – 130–210 мм и 5–9 лет, самок синца – 230–300 мм и 7–11 лет, самцов – 230–270 мм и 7–10 лет, соответственно. Анализ содержания белка, воды, суммарных липидов и их фракций проводили по общепринятым методикам. Коэффициенты вариации рассчитывали отдельно для каждой выборки с разных нерестилищ в разные годы. Всего обработано 488 экз. рыб, проведен биохимический анализ 1064 проб.

### Результаты

Наиболее стабильным, по сравнению с другими тканями, оказался биохимический состав головного мозга (табл. 1). Для него отмечена самая низкая вариабельность общих липидов. Мозг особенно богат фосфолипидами, это наименее изменчивый компонент не только в мозге, но и во всех

исследованных тканях. Коэффициенты вариации белка, общих липидов, воды и фосфолипидов составили менее 10%. Довольно высокими в мозге оказались коэффициенты вариации лишь эфиров холестерина, хотя в других тканях содержание этого запасного компонента варьировало в значительно большей степени.

Таблица 1

**Пределы колебаний коэффициентов вариации (CV%) биохимических показателей мозга и печени у леща из разных преднерестовых скоплений в разные годы (n – число рыб)**

Показатели	Мозг				Печень			
	самки	n	самцы	n	самки	n	самцы	n
% от сырой массы ткани								
Общие липиды	9–10	33	3–6	15	10–11	22	12–20	24
Белок	5–9	33	2–5	15	6–9	22	9–12	24
Вода	1–3	33	0.6–1	15	2	22	2	24
% от сухой массы ткани								
Общие липиды	3–4	33	2–3	15	6–8	22	13–16	24
Белок	3–4	33	1–3	15	2	22	3–4	24
Фосфолипиды	9–10	18	5–8	10	6–10	18	6–10	10
Холестерин	14–31	18	8–13	10	45–55	18	18–30	10
Триацилглицерины	14–31	18	8–13	10	16–31	18	27–31	10
Эфиры холестерина	37–42	18	28–48	10	46–65	18	36–63	10

В преднерестовый период в печени самок и самцов вариабельность фосфолипидов была близка и не превышала 10%, триацилглицеринов – у самок несколько ниже, тогда как вариабельность холестерина была значительно выше по сравнению с самцами (табл. 1).

Изучение возрастной изменчивости липидного состава мышц и гонад показало, что у леща максимальные значения коэффициентов вариации липидных фракций (39–41%) отмечены для гонад самых крупных и старших самок 17 лет (за исключением холестерина), при этом в их мышцах, а также мышцах самцов того же возраста коэффициенты вариации минимальны (5–17% для самок и 2–12% для самцов). У плотвы более высокая вариабельность всех фракций и особенно общих липидов (14–17% для мышц и 6% для гонад) и триацилглицеринов (82–94% и 42–45%, соответственно) отмечены у самок 6 и 7 лет.

На уровне выборок коэффициенты вариации общего биохимического состава мышц у исследованных рыб не очень велики (табл. 2). Содержание липидов наиболее изменчивым оказалось у леща и самцов синца, минимальная вариабельность отмечена у самцов плотвы. Для мышц самок леща и плотвы характерна более высокая изменчивость общих липидов, фосфолипидов, холестерина и особенно триацилглицеринов по сравнению с самцами, только у синца вариабельность общих липидов выше у самцов. Триацилглицерины, накопление и использование которых зависит от множества факторов, являются очень вариабельным компонентом в тканях (табл. 2). Доля еще одного запасного компонента – эфиров холестерина невелика, но изменчивость его в мышцах и гонадах высокая.

Вариабельность содержания общих липидов в гонадах самок всех изученных видов значительно меньше по сравнению с их мышцами, а также мышцами и гонадами самцов. Для яичников в преднерестовый период характерна также минимальная изменчивость всех липидных фракций (табл. 2). Хотя коэффициенты вариации холестерина в целом у плотвы ниже, чем у леща, однако у каждого вида изменчивость содержания этого компонента в гонадах самок меньше, чем в мышцах рыб обоих полов и семенниках. Для яичников леща в основном характерны более высокие, чем у плотвы и синца, коэффициенты вариации исследованных биохимических показателей за исключением лишь запасных липидов (табл. 2).

### Обсуждение

Невысокие коэффициенты вариации биохимического состава головного мозга леща в весенний период (табл. 1) свидетельствуют о незначительной изменчивости и постоянстве содержания белка, липидов и их отдельных фракций, что способствует сохранению нормальной жизнедеятельности одного из наиболее важных органов. Так, известно, что липидный состав пищи практически не сказывается на составе липидов мозговых мембран (Крепс, 1979, 1981), а при голодании у рыб в первую очередь истощаются печень и мышцы, тогда как жировой запас в мозге практически не меняется (Лав, 1976).

Печень имеет очень высокий уровень метаболической активности. Здесь реэстерифицируются липиды пищи, откуда разносятся кровью в другие ткани и жировые депо, мобилизующиеся из депо липиды вновь переносятся в печень – основное место их окисления и синтеза (Лапин, Шатуновский, 1981; Загорских, Кирсипуу, 1990; Шатуновский, 2004). Судя по нашим данным, коэффициенты вариации наиболее значимого запасного компонента – триацилглицеринов в печени достигают 31%. Высокая вариабельность холестерина и его эфиров перед нерестом, скорее всего, связана с участием печени в синтезе различных соединений, поступающих в созревающие ооциты, а также с высокой ролью печени в обмене холестерина (Сидоров, 1983; Макеева, 1992).

Общий биохимический состав и фракционный состав липидов оказались более изменчивыми в мышцах и гонадах.

Количество фосфолипидов в тканях, по сравнению с другими фракциями, в меньшей степени связано с физиологическим состоянием рыб. Оно не зависит от особенностей питания, в частности, при голодании у радужной форели фосфолипиды мобилизовались из мышц и печени в последнюю очередь, после триацилглицеринов (Henderson, Almatar, 1989), во время нерестовой миграции у кеты количество мышечных фосфолипидов оставалось постоянным (Henderson, Tocher, 1987). Ранее нами (Комова, 2001) было показано, что на фоне сезонных колебаний липидов фосфолипидам присущи лишь незначительные изменения, так у леща сезонный размах колебаний коэффициентов вариации фосфолипидов в октябре – мае в мышцах самок составлял 10–22%, а у самцов 13–18%, в гонадах – 7–33% и 4–15%, соответственно. Перед нерестом вариабельность фосфолипидов во всех тканях также невелика, в основном она не превышала 18%, единственным исключением оказались мышцы самок леща, в которых максимальное значение CV=23% (табл. 1, 2).

Содержание еще одного структурного компонента – холестерина в тканях изменялось в течение года в большей степени, чем фосфолипидов. Значения коэффициентов вариации холестерина для мышц леща в разные месяцы составляли у самок от 6 до 63% и от 57 до 61% у самцов, а для гонад – от 15 до 51% у самок и от 22 до 24% у самцов (Комова, 2001). Использование этого липида в процессах биосинтеза, а также в регуляции проницаемости мембран является причиной его более высокой, по сравнению с фосфолипидами, изменчивости в мышцах не только в процессе созревания гонад, но и в преднерестовый период (табл. 2).

Таблица 2

**Пределы колебаний коэффициентов вариации (CV%) биохимических показателей мышц (над чертой) и гонад (под чертой) у леща, плотвы и синца из разных преднерестовых скоплений в разные годы (n – число рыб)**

Показатели	Лещ		Плотва		Синец	
	самки (n = 111)	самцы (n = 108)	самки (n = 125)	самцы (n = 114)	самки (n = 16)	самцы (n = 14)
% от сырой массы ткани						
Общие липиды	<u>13–35</u> 5–18	<u>12–27</u> 8–35	<u>8–16</u> 7–10	<u>9–13</u> 9–26	<u>8–15</u> 7–8	<u>10–27</u> 15–21
Белок	<u>3–6</u> 3–6	<u>3–6</u> 4–10	<u>3–4</u> 2–4	<u>3–4</u> 9–19	<u>2–6</u> 4–5	<u>2–3</u> 7–10
Вода	<u>0.6–1</u> 1–4	<u>0.8–1</u> 0.5–1	<u>0.6–0.9</u> 1–2	<u>0.8</u> 1–2	<u>0.4–1</u> 2–3	<u>0.5–0.7</u> 1–2
% от сухой массы ткани						
Общие липиды	<u>10–30</u> 4–14	<u>11–25</u> 8–27	<u>8–13</u> 5–8	<u>7–12</u> 6–18	<u>7–18</u> 3–4	<u>8–29</u> 10–14
Белок	<u>0.4–1</u> 1–3	<u>0.5–1</u> 1–5	<u>0.8–0.5</u> 1–2	<u>0.3–0.5</u> 1–4	<u>0.3–0.9</u> 0.8–1	<u>0.4–1</u> 3–4
Фосфолипиды	<u>12–23</u> 7–18	<u>9–18</u> 7–14	<u>9–16</u> 7–10	<u>7–10</u> 8–14	–	–
Холестерин	<u>23–65</u> 25–	<u>28–64</u> 19–67	<u>16–38</u> 11–24	<u>15–30</u> 15–24	–	–
Триацилглицерины	<u>25–66</u> 19–32	<u>23–56</u> 28–74	<u>44–76</u> 18–45	<u>39–59</u> 39–54	–	–
Эфиры холестерина	<u>38–61</u> 39–53	<u>37–70</u> 30–50	<u>67–71</u> 32–91	<u>54–78</u> 58–79	–	–

Летом во время нагула липиды запасаются в депо (мезентериальной ткани, печени, мышцах) преимущественно в виде триацилглицеринов (Сидоров, 1983; Sheridan, 1988; Нефедова и др., 2005). В конце нагульного периода для мышц леща мы отмечали большую степень изменчивости триацилглицеринов: коэффициенты вариации у самок с гонадами в разной степени зрелости оказались от 27% у впервые нерестящихся (II-III стадия зрелости) до 81% у неполовозрелых особей, а у самцов в этот период вариабельность составила 55%. После зимнего голодания карповые начинают питаться задолго до нереста (Лапина, 1978; Лапин, Лапина, 1982), от эффективности питания зависит степень накопления запасных липидов и их изменчивость в печени, мышцах и гонадах. В преднерестовый период очень высока интенсивность обменных процессов. Запасные липиды из жировых депо обеспечивают энергетические затраты в ходе нерестовой миграции, содержание их в депо значительно снижается (Kurita, 2003). Липиды и белки мышц у самок также используются в генеративном обмене на заключительной стадии созревания ооцитов, при этом наиболее активно утилизируются триацилглицерины (Henderson, Tocher, 1987; Jensen, Taylor, 2002). Показано, что у самок выше масштабы генеративного синтеза, на который они тратят больше энергии, чем самцы, тогда как у последних больше энергии расходуется на нерестовую активность (Шульман, 1972; Лапина, 1978; Шатуновский, 1980, 2004; Flath, Diana, 1985). Следовательно, высокие значения коэффициентов вариации триацилглицеринов в мышцах и значительно более низкие – в гонадах самок одинаковой стадии зрелости (в преднерестовом состоянии) (табл. 2) являются свидетельством того, что вариабельность запасных липидов в гонадах и в мышцах зависит не только от степени зрелости половых продуктов, поступления липидов с пищей, расходования их в процессах энергетического и генеративного обмена, но также и от перераспределения по органам и тканям с целью обеспечения оптимального для вида биохимического состава созревающих ооцитов.

Эфиры холестерина являются универсальными запасными веществами, предшественниками структурного элемента – холестерина и энергетических – жирных кислот (Сидоров и др., 1994). Вероятно, с этим и связана очень высокая степень их изменчивости во всех исследованных тканях в преднерестовый период, период активного энергетического и генеративного обмена.

Сравнение яичников леща и плотвы перед выметом икры показало более высокую вариабельность большинства биохимических показателей у леща (табл. 2). Полагаем, что это может быть связано с гетерогенностью физиологического состояния гонад, свойственной лещу. Ранее у рыбинского леща наблюдали тенденцию к порционности нереста (Леви, 1953), в дальнейшем такие самки в нерестовом стаде отсутствовали, уже много лет всем производителям леща свойственно единовременное икрометание (Володин, 1983). Однако Халько и Таликина (1993) все же отмечали асинхронность роста ооцитов старшей генерации у леща из р. Сить.

Высокие коэффициенты вариации липидов у плотвы 6–7 лет длиной от 170 до 217 мм скорее всего обусловлены тем, что в этой группе оказались как менее жирные растительоядные, так и более жирные моллюскоядные особи, поскольку по данным Касьянова и Изюмова (1997), именно в размерной группе 180–220 мм встречаются рыбы с разным типом питания.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что в преднерестовый период у самцов более высокие показатели изменчивости биохимического состава тканей. Минимальная изменчивость липидов гонад самок является следствием поддержания оптимального биохимического состава яичников за счет мышц, что не характерно для самцов, имеющих более стабильный состав мышц по сравнению с семенниками. Наблюдаемые различия вариабельности биохимического состава определяются физиологическими особенностями органов и тканей, функциональными особенностями липидных фракций, разной интенсивностью генеративных процессов у самок и самцов, видовой специфичностью гонадогенеза, экологическими особенностями видов в целом.

### Литература

- Володин В.М. 1983. Некоторые особенности формирования и современное состояние структуры популяций леща *Abramis brama* (L.) волжских водохранилищ / Пресноводные гидробионты и их биология. Ред. А.В. Монаков. Л.: Наука. С. 170–184.
- Загорских О.М., Кирсипуу А.А. 1990. Сравнительная характеристика липидного состава мышц и печени лещей после зимовки и летнего нагула / Биохимия экто- и эндотермных организмов в норме и при патологии. Ред. В.С. Сидоров, Р.У. Высоцкая. Петрозаводск: Карельский научный центр АН СССР. С. 27–33.
- Касьянов А.Н., Изюмов Ю.Г. 1997. Изменчивость плотвы *Rutilus rutilus* (L.) в Рыбинском водохранилище / Современное состояние рыбных запасов Рыбинского водохранилища. Ред. Н.П. Прокофьев. Ярославль. С. 132–152.

- Комова Н.И. 2001. Динамика биохимического состава тканей леща *Abramis brama* (Cyprinidae) при созревании гонад // Вопр. ихтиологии. Т. 41. № 3. С. 408–415.
- Крепс Е.М. 1979. Клеточные липиды и их роль в адаптации водных организмов к условиям существования / Физиология и биохимия морских и пресноводных животных. Ред. Е.М.Крепс. Л.:Наука. С.3–21. – 1981. Липиды клеточных мембран. Эволюция липидов мозга. Адаптационная функция липидов. Л.: Наука. 339 с.
- Лав Р.М. 1976. Химическая биология рыб / Пер. с англ. М.: Пищ. пром-сть. 350с.
- Лапин В.И., Лапина Н.Н. 1982. Особенности динамики физиолого-биохимических показателей генеративного синтеза самок некоторых карповых рыб // Вопр. ихтиологии. Т. 22. Вып. 2. С. 285–293.
- Лапин В.И., Шатуновский М.И. 1981. Особенности состава, физиологическое и экологическое значение липидов рыб // Успехи соврем. биологии. Т.92. Вып.3(6). С. 380–394.
- Лапина Н.Н. 1978. Сезонные изменения биохимического состава органов и тканей плотвы *Rutilus rutilus* (L.) Можайского водохранилища // Вопр. ихтиологии. Т.18. Вып.6(113). С. 1099–1109.
- Леви Л.А. 1953. О некоторых особенностях полового цикла леща Рыбинского водохранилища // Изв. ВНИОРХ. Т. XXXIII. С. 54–65.
- Макеева А.П. 1992. Эмбриология рыб. М.: Изд-во МГУ. 216 с.
- Нефедова З.А., Руоколайнен Т.Р., Васильева О.Б., Немова Н.Н., Кашулин Н.А. 2005. Некоторые показатели липидного обмена самок разновозрастной ряпушки *Coregonus albula* в период нагула из оз. Сямозеро (Карелия) и оз. Ковдор (Мурманская область) // Вопр. ихтиологии. Т.45. № 5. С. 689–694.
- Сидоров В.С. 1983. Экологическая биохимия рыб. Липиды. Л.: Наука. 240 с.
- Сидоров В.С., Шатуновский М.И. 1983. Теоретические и практические аспекты экологической биохимии рыб / Сравнительная биохимия водных животных. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР. С. 5–17.
- Сидоров В.С., Лизенко Е.И., Рипатти П.О. 1994. Эволюционные аспекты экологической биохимии липидов рыб / Теоретические аспекты экологической биохимии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. С. 5–36.
- Халько В.В., Таликина М.Г. 1993. Сравнительная характеристика преднерестового состояния гонад репродуктивных изолятов фитофильных рыб Рыбинского водохранилища // Вопр. ихтиологии. Т. 33. № 2. С. 241–247.
- Шатуновский М.И. 1980. Экологические закономерности обмена веществ морских рыб. М.: Наука. 288с. – 1998. Проблема снижения биоразнообразия пресноводных водоемов // Изв. РАН. Сер. биол. № 4. С. 441–444. – 2004. Некоторые биохимические показатели развития воспроизводительной системы рыб / Современные проблемы физиологии и биохимии водных организмов. Мат-лы междунар. конф. 6–9 сентября 2004. Петрозаводск. С. 148–149.
- Шульман Г.Е. 1972. Физиолого-биохимические особенности годовых циклов рыб. М.: Пищевая пром-сть. 368 с.
- Flath L.E., Diana J.S. 1985. Seasonal energy dynamics of the alewife in southeastern lake Michigan // Trans. Amer. Fish. Soc. V.114. № 3. P. 328–337.
- Henderson R.J., Almatar S.M. 1989. Seasonal changes in the lipid composition of herring (*Clupea harengus*) in relation to gonad maturation // J. Mar. Biol. Assoc. V. 69. № 2. P. 323–334.
- Henderson R.J., Tocher D.R. 1987. The lipid composition and biochemistry of freshwater fish // Prog. Lipid Res. V. 26. P. 281–347.
- Jensen B.H., Taylor M.H. 2002. Lipid transport in female *Fundulus heteroclitus* during the reproductive season // Fish Physiol. and Biochem. V. 25. P. 141–151.
- Kurita Y. 2003. Energetics of reproduction and spawning migration for Pacific saury (*Cololabis saira*) // Fish Physiol. and Biochem. V. 28. P. 271–272.
- Sheridan M.A. 1988. Lipid dynamics in fish: aspects of absorption, transportation, deposition and mobilization // Comp. Biochem. Physiol. V.90B. № 4. P.679–690.

## VARIABILITY OF BIOCHEMICAL INDICES OF CYPRINID FISHES DURING THE PRESPAWNING PERIOD

**N. I. Komova**

Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences, Borok,  
Yaroslavl obl., Russia, e-mail: komova@ibiw.yaroslavl.ru

The pattern of variability of the total biochemical composition and the fractional composition of lipids in the tissues of bream *Abramis brama*, roach *Rutilus rutilus* and blue bream *Abramis ballerus* during the prespawning period was studied. Neutral reserve lipids (triacylglycerols, cholesteryl esters) are found to be the most variable component in brain, liver, muscles and gonads. The variability of ovaries lipids was determined to be lower than one of muscles in fishes of both sexes and testes, being the consequence of maintenance of optimal oocyte biochemical composition before spawn. The differences in variability of tissue biochemical composition in the investigated species of fish were revealed. These differences are caused by the specific character of gonads maturation in the species, and also by the ecological characteristics of species.

## СОСТОЯНИЕ ГИДРОБИОЦЕНОЗОВ РЕК ПОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ БЕЛОГО МОРЯ

С.Ф. Комулайнен, А.Н. Круглова, И.А. Барышев

Учреждение Российской академии наук

Институт биологии Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск, Россия

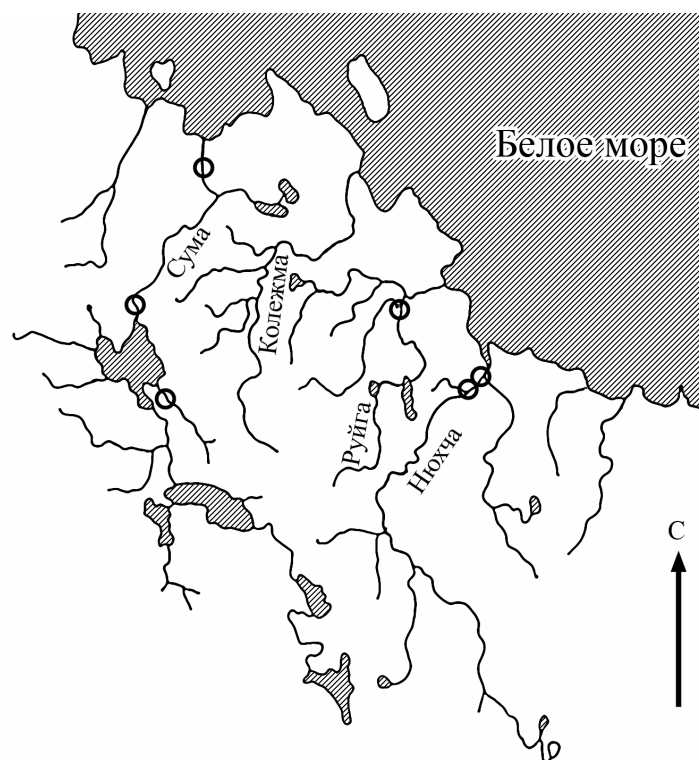
e-mail: komsf@mail.ru

Исследования организации и функционирования основных элементов биоты речных экосистем – неотъемлемая часть в решении фундаментальных и прикладных вопросов гидробиологии и экологии. Представления о структурной организации сообществ водных организмов, о зависимости показателей структуры от факторов окружающей среды необходимы для понимания функционирования водных экосистем. Они важны и с практической точки зрения, прежде всего, для разработки систем биоиндикации качества окружающей среды

Литературные данные о структуре сообществ водных организмов в реках Поморского побережья Белого моря ограничиваются публикациями Т.А. Чекрыжевой (1985) и Л.И. Гордеевой (1985) выполненными на основе сборов 1988 года и посвященных анализу структуры планктонных комплексов в реках Нюхча и Сума. В фитопланктоне рек Сума и Нюхча было определено соответственно 52 и 54 вида. Показано, что его наиболее разнообразно в нем представлены диатомовые водоросли, составляющие 45–60% всех найденных видов. Массовыми формами из диатомей были *Melosira ambigua* (Grun.) O.Müll., *M. islandica* subsp. *helvetica* O. Müll., *Tabellaria fenestrata*. Отмечена экологическая неоднородность речного зоопланктона, который формируется как за счет лимнофильного, так и литорального и придонного комплексов. Наибольшие значения численности и биомассы зоопланктона характерны для участков рек с замедленным течением и развитой водной растительностью ( $15.7\text{--}54.2 \cdot 10^3$  экз.  $\text{м}^{-3}$ ;  $0.7\text{--}1.0 \text{ г м}^{-3}$ ). Краткие сведения о зообентосе реки Сума содержатся в обзорной работе по фауне донных беспозвоночных рек Кольского полуострова и Карелии (Khrennikov *et al.*, 2007). Фрагментарные данные о мезобентосе проточного озера Сумозеро представлены в работе А.Р. Хазова (1985).

### Материал и методика

Изучение сообществ гидробионтов (фитоперифитон, зоопланктон, зообентос) проводилось в реках трех рек Поморского побережья Белого моря (Рис.).



Карта-схема района исследований (О – места отбора проб)

Отбор проб осуществлялся на пороговых участках рек. Более подробно исследовалась структура гидробиоценозов в реке Сума (от верховья до устья, 3 станции). Сбор и камеральная обработка материала проводилась по общепринятым методикам (Руководство..., 1989; Комулайнен и др., 1989; Комулайнен 2003) Исследованные реки мало подвержены антропогенному воздействию, имеют относительно небольшую длину и площадь водосбора (табл. 1).

Таблица 1

**Гидрологическая характеристика исследованных рек Поморского побережья Белого моря**

Река	Длина, км	Характеристика водосбора				Средний многолетний	
		S, км <sup>2</sup>	IS	FS	WIS	Расход воды, м <sup>3</sup> /с	Модуль стока, л/с/км <sup>2</sup>
Сума	157,5	2041	13,1	65,5	21,4	18,51	9,0
Руйга	77,2	768	2,7	?	?	6,74	8,8
Нюхча	104,9	1772	2,5	71,5	26,0	16,81	9,5

Они характеризуются низкой минерализацией (менее 20 мг/л) и низкими величинами pH (5.6–6.7), высоким содержанием органического вещества (в среднем 55 мг/л) и цветностью (в среднем 280) – (Ресурсы поверхностных вод СССР, 1970; Современное состояние..., 1998; Веселов, Калужин, 2001; Иванов, Брызгалов, 2007).

### Результаты и обсуждение

#### Фитоперифитон

В фитоперифитоне исследованных рек определено 65 таксонов водорослей рангом ниже рода, относящихся к 6 отделам: Cyanophyta – 5, Chrysophyta – 2, Dinophyta – 1, Bacillariophyta – 48, Chlorophyta – 6, Rhodophyta – 3 (табл. 2).

Основу списка во всех реках (>90 %) составляют диатомовые, зеленые и синезеленые водоросли. Видовое богатство альгофлоры перифитона рек определяют диатомовые водоросли. На их долю приходится более половины списка, что характерно для всех типов водоемов Арктики и Субарктики (Комулайнен 2003). Среди диатомей доминируют типичные для олиготрофных водоемов Европейского Севера виды: *Tabellaria flocculosa*, *Eunotia pectinalis*, *Cocconeis placentula* и *Frustulia rhomboides*.

Среди синезеленых водорослей наиболее постоянен *Nostoc coeruleum*, а среди зеленых – нитчатые *Zygnema* sp., и *Mougeotia* sp. Красные водоросли представлены всего 3 видами, из которых *Lemanea fluvialis* часто доминирует по биомассе и является одним из самых постоянных видов в перифитоне рек.

Сравнительная оценка роли отдельных родов в формировании таксономического разнообразия фитоперифитона показала, что оно определяется в первую очередь родами, в которых преобладают типичные прикрепленные формы.

Численность водорослей в перифитоне была невысока, а размах колебаний численности водорослей в конце биологического лета (июль–август) достигал нескольких порядков – от  $0.6 \times 10^3$  до  $110 \times 10^4$  кл/см<sup>2</sup>. Биомасса изменялась от 0.01 до 26.7 мг/см<sup>2</sup> субстрата.

Очень сходно и соотношение экологических групп водорослей в перифитоне исследованных рек. Большая часть выявленных видов – эпилиты и эпифиты. Относительное обилие планктонных форм только в истоке реки Сума из озера Сумозеро достигает 7%. Здесь в фитоперифитоне встречаются синезеленые планктонные водоросли рода *Anabaena* и *Oscillatoria*. Наблюдается высокое разнообразие индифферентных по отношению к солёности видов, объясняемое низкой минерализацией рек; и присутствие довольно многочисленной группы ацидофилов, связанное с высокой заболоченностью водосборов.

Значения индекса Сладечека и Трофического Диатомового Индекса (TDI) изменяются соответственно от 0.29 до 1.24 и от 1.05 до 2.18. Это объясняется доминированием в перифитоне  $\chi^-$ ,  $\chi$ олигои олигосапробных видов и позволяет отнести воды исследованных рек к олигосапробной зоне.



## Список водорослей перифитона рек Сума, Нюхча и Руйга

Cyanophyta	<i>A. pergalloi</i> Brun. et Herib
<i>Stigonema mamilosum</i> (Lyngb.) Ag.	<i>Navicula cuspidata</i> Kütz.
<i>Nostoc coeruleum</i> Lyngb.	<i>N. lanceolata</i> (Ag.) Kütz
<i>Anabaena flos-aquae</i> (Lyngb.) Breb.	<i>Frustulia rhomboides</i> (Ehr.) D.T.
<i>Tolypothrix distorta</i> (Fl. Dan.) Kütz.	<i>F. rhomboides</i> v. <i>sacsonica</i> (Rabenh.) D.T
<i>Oscillatoria limosa</i> Ag.	<i>Stauroneis anceps</i> Ehr.
Chrysophyta	<i>Pinnularia brevicostata</i> Cl.
<i>Dinobryon divergens</i> Imhof.	<i>P. gibba</i> Ehr.
<i>D. sociale</i> Ehr.	<i>P. major</i> (Kütz.) Cl.
Dinophyta	<i>P. microstauron</i> (Ehr.) Cl.
<i>Peridinium cinctum</i> (O. F. M.) Ehr.	<i>P. undulata</i> Greg.
Bacillariophyta	<i>Cymbella affinis</i> Kütz
<i>Stephanodiscus asterea</i> (Her.) Grun.	<i>C. cuspidata</i> Kütz.
<i>Cyclotella bodanica</i> Eulens.	<i>C. gracilis</i> (Rabench.) Cl.
<i>Melosira varians</i> Ag.	<b><i>C. helvetica</i> Kütz</b>
<i>Aulocosira ambigua</i> (Grun.) Simonsen	<i>C. prostrata</i> (Berkeley) Cl.
<i>A. granulata</i> (Ehr.) Simonsen	<i>C. tumidula</i> Grun.
<i>A. islandica</i> (O. Müll.) Simonsen	<i>C. ventricosa</i> Kütz.
<i>A. italica</i> (Ehr.) Kütz	<i>Gomphonema constrictum</i> Ehr.
<i>Fragilaria bicapitata</i> A. Mayer	<i>G. longiceps</i> Ehr.
<i>F. capucina</i> Desm.	<i>G. parvulum</i> (Kütz.) Grun.
<i>Asterionella formosa</i> Hass.	<b><i>Epithemia zebra</i> (Ehr.) Kütz.</b>
<i>Synedra ulna</i> (Nitzsch.) Ehr.	<i>Nitzschia linearis</i> W. Sm.
<i>Diatoma vulgare</i> Bory	<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehr.) Grun.
<i>Meridion circulare</i> Ag.	Chlorophyta
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngb.) Kütz	<i>Microspora amoena</i> (Kütz.) Rabench.
<i>T. flocculosa</i> (Roth.) Kütz	<b><i>Stigeoclonium fasciculare</i> Kütz.</b>
<i>Eunotia fallax</i> v. <i>gracillima</i> Krasske.	<i>Chaetophora elegans</i> (Roth.) Ag.
<i>E. pectinalis</i> Kütz	<i>Oedogonium</i> sp.
<i>E. pectinalis</i> v. <i>minor</i> (Kütz.) Rabench.	<i>Zygnema</i> sp.
<i>E. pectinalis</i> v. <i>ventralis</i> (Ehr.) Hust.	<i>Mougeotia</i> sp.
<i>E. praerupta</i> Ehr.	Rhodophyta
<i>E. robusta</i> v. <i>tetraëdrum</i> (Her.) Ralfs.	<i>Chantransia chalybea</i> (Roth.) Tries
<i>E. sudetica</i> O. Müll.	<i>Batrachospermum moniliforme</i> Roth.
<i>Cocconeis pediculus</i> Ehr.	<i>Lemanea fluviatilis</i> Ag.
<i>Achnanthes minutissima</i> Kütz.	

Анализ структуры фитоперифитона в реке Сума показал, что видовой состав и плотность альгоценозов заметно изменяются от истока к устью (табл. 3)

Таблица 3

## Изменение структуры фитоперифитона от истока к устью

	Станции отбора проб		
	1	2	3
Относительное обилие доминирующих видов (%)			
<i>T. flocculosa</i> (Roth.) Kütz	3,0	0,0	0,0
<i>E. pectinalis</i> Kütz	77,8	34,0	26,0
<i>Cocconeis placentula</i> Ehr.	0,0	11,2	26,0
<i>Frustulia rhomboides</i> (Ehr.) D.T.	7,0	26,0	9,0
остальные	12,2	28,8	39,0
Индекс Шеннона	1,02	1,89	2,02
Индекс Сладчека	0,29	0,78	1,1
Диатомовый индекс (TDI)	1,05	1,7	2,18
Численность, клеток ×103 /см2	20	760	800
Количество видов	15	27	18

## Зоопланктон

В зоопланктоне рек обнаружено 32 вида, в том числе: коловратки (*Rotatoria*) – 6 видов (18,75%); кладоцеры – 20 (62,5%) и копеподы – 6 (18,75%). Количество видов по рекам колебалось

от 3 (Руйга) до 26 (Сума). Основу таксономического списка (62–84%) планктонных организмов составляли ракообразные, главным образом, ветвистоусые. Из них наибольшим видовым разнообразием (11 видов) отличалось семейство Chydoridae, составлявшее 55% от общего числа кладоцер. Представители других семейств ветвистоусых ракообразных (Daphniidae, Sididae, Bosminidae, Пуосcriptidae) включали от 1 до 4 видов. Коловратки, отмеченные в речном зоопланктоне, относятся к трем семействам (Euchlanidae, Brachionidae, Synchaetidae), включающими 1–5 видами. Веслоногие ракообразные представлены семейством Cyclopidae (4 вида). Из каланид зарегистрированы Heteroscope, Eudiaptomus.

Особенности гидрографического строения речных бассейнов (озерность, заболоченность и др.) находят некоторое отражение в формировании основного комплекса планктонной фауны. Наибольшее видовое разнообразие и количественные показатели планктонной фауны характерны для реки Сума, отличающейся более высокой (13,1%) озерностью. В ее составе присутствуют озерные формы ракообразных (*Bosmina obtusirostris*, *Daphnia cristata*, *Eudiaptomus gracilis*, *Heteroscope appendiculata*) и коловраток (*Keratella cochlearis*, *Kellicottia longispina*), сносимых из озер. Планктонная фауна двух оставшихся рек, характеризующихся меньшей озерностью (менее 3.0%), в основном формируется представителями фитофильного и прибрежного комплексов (*Bosmina longirostris*, виды родов *Alona*, *Alonella*, *Acroperus*, *Euchlanis*). Основу численности (60 – 90%) и биомассы (до 99%) речного зоопланктона создают ракообразные, в основном, ветвистоусые. Показатели количественного развития зоопланктона в исследованных реках невысоки (табл. 4).

Таблица 4

**Количественные показатели зоопланктона рек Поморского побережья  
Белого моря**

Река	Численность, экз./м <sup>3</sup>	Биомасса, мг/м <sup>3</sup>
Сума:		
Верховье	180	10,530
Пос. Хвойный	450	7,997
Пос. Сумпосад	45	0,783
Руйга	25	0,403
Нюхча	70	3,920

Зоопланктон исследованных рек имеет сходство с фауной ракообразных и коловраток рек Карелии и Мурманской области, исследованных ранее (Гордеева, 1985; Куликова, Сярки, 1990; Комулайн, Круглова, Барышев, 2005; Круглова, 2008).

#### Зообентос

В составе зообентоса отмечены беспозвоночные организмы групп Nematoda, Oligochaeta, Hirudinea, Bivalvia, Gastropoda, Acari, Ephemeroptera (*Paraleptophlebia* sp., *Ephemerella ignita*, *Heptagenia sulphurea* f. *sulphurea*, *Heptagenia sulphurea* f. *dalecarlica*, *Nigrobaetis niger*, *Baetis fuscatus*, *B. vernus*, *B. rhodani*), Plecoptera (*Taeniopteryx nebulosa*, *Diura* sp., *Leuctra* sp.), Trichoptera (*Rhyacophila nubila*, *Oxyethira* sp., *Ithytrichia lamellaris*, *Lepidostoma hirtum*, *Micrasema* sp., *Brachycentrus subnubilus*, *Arctopsyche ladogensis*, *Cheumatopsyche lepida*, *Hydropsyche pellucidula*, *H. siltalai*, *Ceratopsyche nevae*, *C. silfvenii*, *Polycentropus flavomaculatus*), Simuliidae, Chironomidae., Coleoptera (*Oulimnius* sp., *Elmis maugetti*, *Limnius* sp.), Heteroptera (*Aphelocheirus aestivalis*).

Численность и биомасса зообентоса в среднем составили 2895±552 экз./м<sup>2</sup> (от 1150 до 5850) и 4,6±1,64 г/м<sup>2</sup> (от 0,48 до 18,0) (табл. 5).

В целом видовой состав зообентоса обычен для южной Карелии. Обращает на себя внимание большое число видов (6) сем. Hydropsychidae (Trichoptera) – *Arctopsyche ladogensis*, *Cheumatopsyche lepida*, *Hydropsyche pellucidula*, *H. siltalai*, *Ceratopsyche nevae*, *C. silfvenii*. Клоп *Aphelocheirus aestivalis*, обычный в реках Онежского озера, впервые отмечен в реках бассейна Белого моря. Род *Rhyacophila*, как и в реках Онежского озера, представлен только видом *R. nubila*. Как и в реках Онежского озера присутствует *Heptagenia sulphurea* f. *sulphurea*. Таким образом, реки южной части Белого моря, по составу зообентоса ближе к рекам Онежского озера, чем к рекам северной части Белого моря. При этом численность и биомасса зообентоса сопоставимы с количественными харак-

теристиками рек других районов Белого моря и меньше, чем в реках Онежского озера (Барышев, Веселов, 2005; Хренников и др., 2005).

Таблица 5

**Численность (экз./м<sup>2</sup>, над чертой) и биомасса (г/м<sup>2</sup>, под чертой) зообентоса**

Группа	Сума		Нюхча		Руйга	
	Ч*	Б	Ч	Б	Ч	Б
Nematoda	12,5	0,01	0	0,00	0	0,00
Annelida	0	0,00	31,1	0,10	0	0,00
Molluska	31,2	0,03	6,2	0,01	125,0	0,13
Acari	31,2	0,02	0	0,00	50,0	0,04
Ephemeroptera	1250,0	1,51	350,0	0,33	250,0	0,18
Plecoptera	131,3	0,11	56,2	0,08	537,5	0,57
Trichoptera	575,0	5,43	143,6	0,95	175,0	0,27
Simuliidae	775,0	0,68	43,6	0,08	75,0	0,13
Chironomidae	1800,0	0,58	631,2	0,18	1275,0	0,23
Diptera n/d	6,3	0,01	6,2	0,19	37,5	0,02
Coleoptera	37,5	0,04	12,4	0,01	75,0	0,08
Hetroptera	0	0,00	6,2	0,39	0	0,00
Сумма	4650,0	8,42	1287,5	2,30	2600,0	1,63

Примечание: Ч – численность, экз./м<sup>2</sup>, Б – биомасса, г/м<sup>2</sup>

Доминировали в составе бентоса организмы групп Chironomidae, Ephemeroptera, Trichoptera.

Сопоставление зообентоса рек поморского берега с зообентосом проточного озера Сумозеро (Хазов, 1985) выявило принципиальные различия в составе донных сообществ. В озере преобладали ракообразные, небольшую долю составляли личинки хирономид и олигохеты. В реках на порожистых участках ракообразные не отмечены, доминировали личинки амфибиотических насекомых.

### Литература

Барышев И.А. Веселов А.Е. 2005. Количественная характеристика зообентоса некоторых рек бассейна Белого моря (Карельский, Терский и Архангельский берега). Лососевидные рыбы Восточной Финноскандии. Петрозаводск, 2005. С. 23–30.

Хренников В.В., Барышев И.А., Шустов Ю.А., Павлов В.Н., Ильмаст Н.В. 2005. Зообентос рек Карелии и Кольского полуострова, кормовые ресурсы для молоди лосося // Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря. Материалы IX международной конференции 11–14 октября 2004 г., Петрозаводск. С. 318–322.

Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов. 2007. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 334 с.

Веселов А.Е., Калужин С.М. 2001. Экология, поведение и распределение молоди атлантического лосося. Петрозаводск: Карелия. 159 с.

Гордеева Л.И. 1985. Зоопланктон рек Поморского и Карельского побережий Белого моря. // Исследование некоторых элементов экосистемы Белого моря и его бассейна. Оперативно-информационные материалы. Петрозаводск: КФАН СССР. С. 22–24.

Иванов В.В., Брызгалов В.А. 2007. Гидролого-гидрохимический режим водосбора Белого моря // Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов. Петрозаводск: КарНЦ РАН. С.52–117.

Комулайнен С.Ф. 2003. Методические рекомендации по изучению фитоперифитона в малых реках. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 43с.

Комулайнен С.Ф., Круглова А.Н., Хренников В.В., Широков В.А. 1989. Методические рекомендации по изучению гидробиологического режима малых рек. Петрозаводск: КФАН СССР. 41 с.

Комулайнен С. Ф., Круглова А.Н., Барышев И.А. 2005. Структура гидробиоценозов в некоторых реках Карельского побережья Белого моря // Материалы IX межд. конф.: Проблемы изучения, рацион. исп. и охраны ресурсов Белого моря. Петрозаводск: КарНЦ РАН. С. 156–164.

Круглова А.Н. 2008. О планктофауне малых лососевых рек Кольского полуострова // Журн. Биология внутренних вод. № 3. С. 8–13.

Куликова Т.П., Сярки М.Т. 1990. Особенности формирования планктонной фауны притоков Онежского озера // Притоки Онежского озера. Петрозаводск: КарНЦ РАН. С. 77–99.

Ресурсы поверхностных вод СССР. 1970. Т. 1. Кольский полуостров. Л.: Гидрометеорологическое изд-во. 315 с.

Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. 1983. Л.: Гидрометеоиздат. 239 с.

Современное состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1992–1997 гг. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 1998. 46 с.

Хазов А.Р. 1985. Мезобентос оз. Сумозеро // Исследование некоторых элементов экосистемы Белого моря и его бассейна (оперативно-информационные материалы). Петрозаводск. КФАН СССР. С. 35–37

Чекрыжева Т.А. 1985. Фитопланктон и оценка сапробности водоемов озерно-речных систем Карельского и Поморского побережий Белого моря // Исследование некоторых элементов экосистемы Белого моря и его бассейна. Оперативно-информационные материалы. Петрозаводск. КФАН СССР. С. 37–40.

Khrennikov V., Baryshev I., Shustov Y., Pavlov V., Ilmast N. 2007. Zoobenthos of salmon rivers in the Kola Peninsula and Karelia (north east Fennoscandia) // *Ecohydrology&Hydrobiology*. Vol. 7. No 1. P. 71–77.

## MODERN STATE OF HYDROBIONT COMMUNITIES IN SOME RIVERS OF POMORSKY COAST OF WHITE SEA.

S. Komulainen, A. Kruglova, I. Baryshev

Institute of Biology Karelian RC RAS. Petrozavodsk, Russia

e-mail: komsf@mail.ru

The study of hydrobiont communities in rivers Suma, Ruyga and Nukhcha included the analysis of their taxonomy composition, ecology and space distribution such as abundance. The paper is discussed the main principles of the changes in a structure and functioning of hydrobiont communities in rivers. The particular attention is given to the problems of the developing of the river continuum and the effect of flowing lakes. It is save to assume that all rivers have poorly polluted waters, significant clearing potential.

## ДИНАМИКА СТРУКТУРЫ ПОСЕЛЕНИЯ *MYTILUS EDULIS* НА ЛИТОРАЛИ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ

А.В. Костарева

Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск, Россия

*Mytilus edulis* – очень важный для Белого моря моллюск. Поселения мидий, обладая высокой плотностью, играют ведущую роль в создании пояса фильтраторов. Занимая довольно обширные участки, мидиевые банки имеют существенное значение в процессах детритообразования и осадко-накопления (Луканин, Наумов, Федяков, 1989).

Продолжительность жизни на литорали 5–6 лет, в сублиторали – 10–12 лет. Отдельные особи доживают до 20 лет и более (Наумов, Федяков, 1993).

*Mytilus edulis* относятся к эвригалинным формам. Они способны существовать в очень широком диапазоне солености: от 4–5 до 74–80‰, но оптимальным является уровень от 13 до 29‰ (Бергер, 1986).

Мидии разнополые, с небольшим преобладанием самцов. Наступление полового созревания приходится на 3–4 год. Нерест начинается во второй половине июня, при температуре окружающей среды 10–12°C и солености 23–24‰ (Кауфман, 1977). Молодь мидий оседает на нитчатках, фукоидах и домиках баянусов у уреза воды. Впоследствии мигрирует вверх по литорали и в сублиторали (Кулаковский, Шамарин, 1989). Мидии – седентарные животные, но они зачастую перемещаются в пределах литорали и сублиторали (Федяков, 1986).

Целью данной работы являлось выявление динамики плотности и биомассы поселений *Mytilus edulis* на литорали Кандалакшского залива Белого моря.

Материалами для данной работы послужили сборы двустворчатого моллюска *Mytilus edulis* в Кандалакшском заливе из 2 точек: Турий мыс и о. Ряжков в июне-июле 2005–2008 гг. В каждой точке заложен стационарный мониторинговый полигон для многолетних наблюдений за массовыми литоральными беспозвоночными, в том числе и за *Mytilus edulis*

Методика взятия проб *Mytilus edulis*: с каждой точки проводился сбор 5 проб, путем вдавливания металлического цилиндра с острыми режущими краями его нижней части и с внутренней площадью  $0,01 \text{ м}^2$  в часть поселения мидий и подстилающий грунт. Мидии и живые организмы, находящиеся в пробе, промывались через сито с размером ячеек  $1 \times 1 \text{ мм}$ . В лаборатории мидии из каждой пробы взвешивались на аптекарских весах с точностью до 10 мг. Возраст каждой особи определялся по зарубкам на раковине. Также производился учет сопутствующей фауны: определялся вид животных, подсчитывалось количество для получения плотности и измерялась масса для каждого вида в отдельности.

На рисунках 1, 2, 3 отображен возрастной состав поселений мидий на выбранных нами точках.

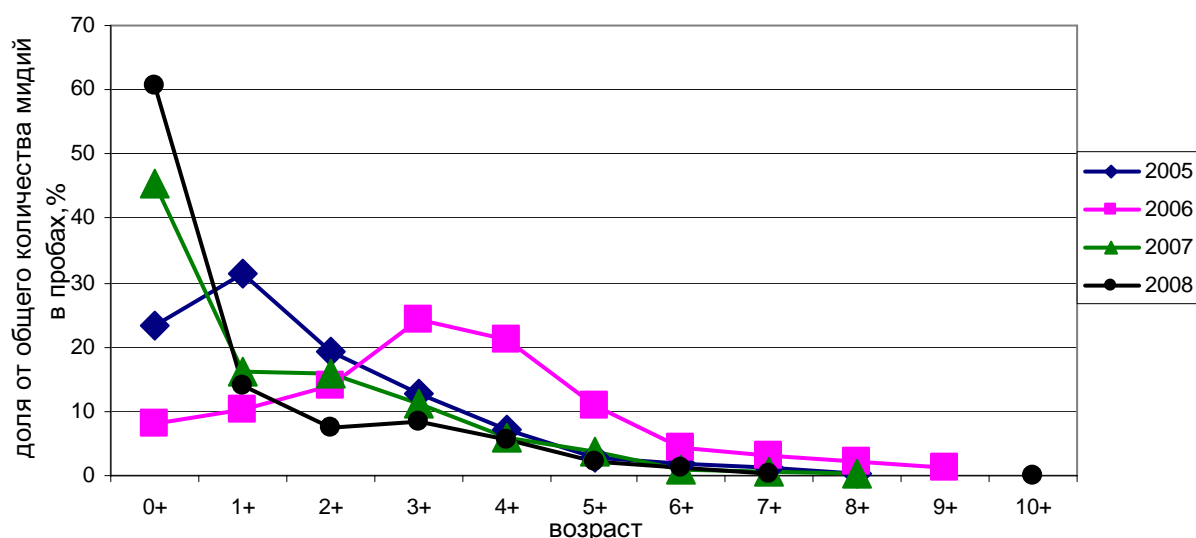


Рис. 1. Динамика возрастного состава поселений *Mytilus edulis* Туре мыса в период с 2005 по 2008 гг.

Из графика видно, что в исследуемые нами годы были представлены мидии всех возрастов последовательно от 0+ до 10+. В 2005 году на Туре мысу было обнаружено преобладание мидий возраста 0+ и 1+, доля их в пробах составляла 54,7%; и отсутствовали особи в возрасте 9+ и 10+ лет. Доминирование 2+, 3+ и 4+ летних мидий, доля которых от общей суммы составляло 59,5 %, зафиксировано в 2006 г. Так же в этом году были отмечены 9 летние моллюски (1,2%). В 2007 и 2008 году пик приходился на моллюсков в возрасте 0+, 45,5% и 60,7% соответственно.

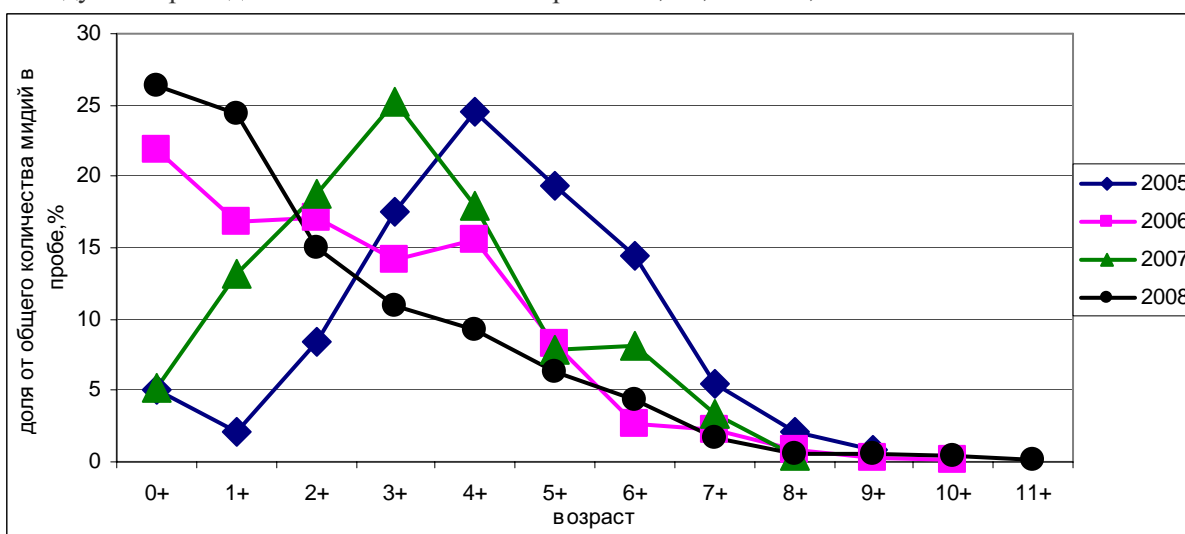


Рис. 2. Динамика возрастного состава поселений *Mytilus edulis* о. Ряжков в период с 2005 по 2008 гг.

На графике видно, что в 2005 году на о. Рязков моллюски возраста 1+ представлены самым низким процентным соотношением от общего количества в исследуемых годах и составили 2,1%, а в 2006, 2007 и 2008 16,8%, 13,2% и 24,4% соответственно. В 2005 году доминировали моллюски в возрасте 3+, 4+ и 5+, доля их в пробах составляла 61,3%. В пробах 2006 года были в достаточном количестве представлены моллюски в возрасте от 0+ до 4+, и отсутствуют особи 11-ти лет. В 2007 году было выявлено преобладание того же возрастного ядра (кроме 5 летних мидий), что и в 2005 году. Максимальный возраст обработанных мидий в 2007 году не превышал 8+. Полученные в 2008 году данные, показывают на превалирование особей 0+ и 1+. Так же в этом году были выявлены одиночные особи более старшего возраста 10+ и 11+.

Данные по средней плотности и биомассе *Mytilus edulis* в обследованных районах представлены в таблице.

Данные по плотности и биомассе мидий

Район		2005	2006	2007	2008
Турый мыс	Биомасса, г/м <sup>2</sup>	3075±429.3	2780±427	3619±502,6	4828,8±461,1
	Плотность, экз/м <sup>2</sup>	18320±1682.7	13580±2088.6	21480±2920	32400±4662,4
о. Рязков	Биомасса, г/м <sup>2</sup>	9108±1580.1	3528±377.4	5530,4±1011,6	6163±878,7
	Плотность, экз/м <sup>2</sup>	13060±1654.6	12980±1309.7	18980±1795,1	16650±4622,5

Из приведенной таблицы видно, что показатели меняются каждый год. На Турем мысу и о. Рязков наблюдается увеличение биомассы поселений, выбивается только 2006 год с самыми низкими показателями. Такое колебание может говорить о проявлении автоцикличности поселений мидий, т.е. о закономерной циклической смене различных состояний, зависящей от особенностей места обитания и жизненного цикла (Луканин, Наумов, Федяков, 1989).

Плотность популяции на Турем мысу снижается к 2006 году, а затем постепенно увеличивается к 2008 году. На о. Рязков более разбросанные данные по плотности поселения мидий. Показатель плотности в июне-июле сильно зависит от того, произошел ли сбор проб до, во время или после оседания молоди. До оседания и после плотность будет уменьшаться, а во время оседания увеличиваться, при чем на показатели биомассы в этот период сеголетки особого влияния не оказывают.

В пробах так же исследовались организмы, обитающие совместно с *Mytilus edulis*. На построенных графиках (рис.3, рис.4) отображены доля и видовое разнообразие сопутствующих видов.

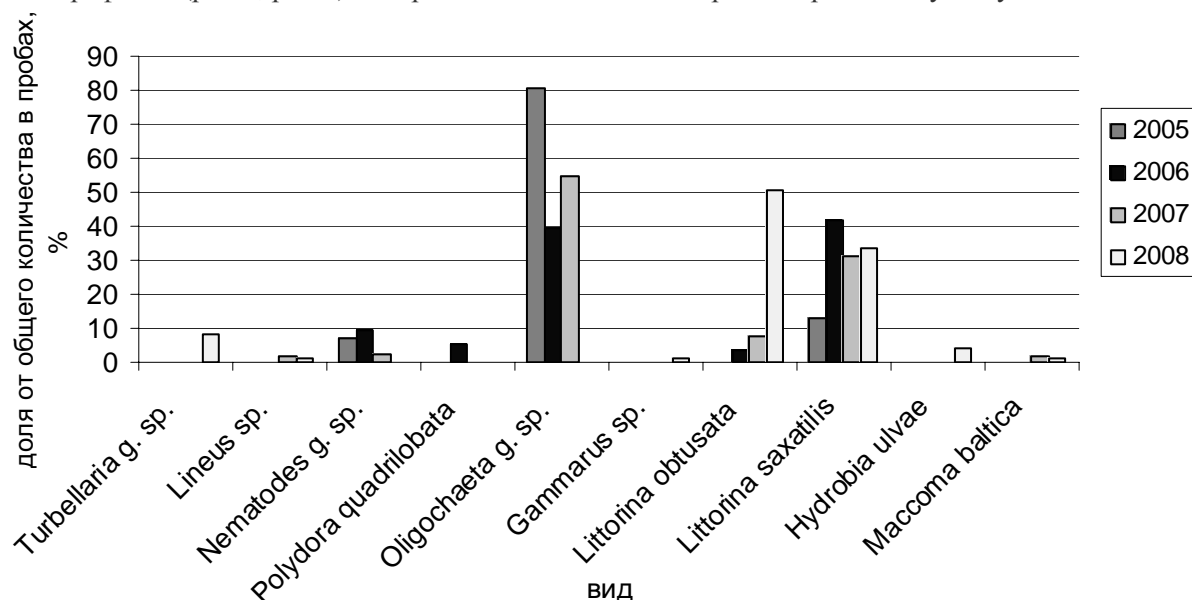


Рис. 3. Доля сопутствующей фауны Турего мыса в период с 2005 по 2008 гг.

Сопутствующая фауна на Турем мысу составила 10 видов. Наиболее высокий процент организмов, содержащихся в пробах за 2005, 2006 и 2007 составляет *Oligochaeta* 83%, 39,5% и 54,8% со-

ответственно. Так же, в 2006 и 2007 наиболее обычным видом был *Littorina saxatilis* 41.6% и 31,3% соответственно. *Turbellaria*, *Gammarus* и *Hydrobia ulvae* были представлены только в 2008 году.

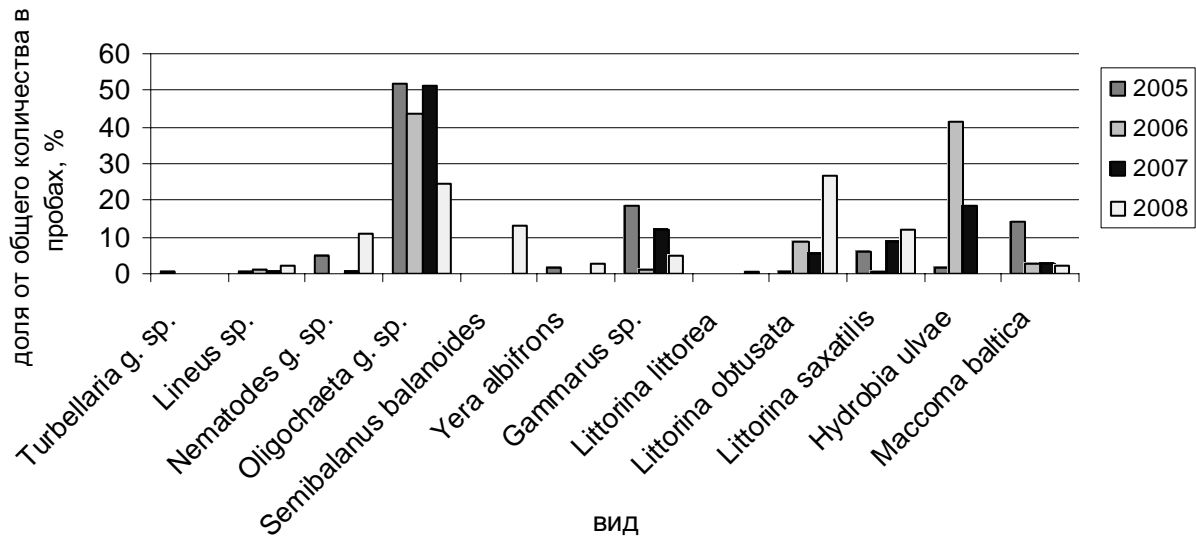


Рис. 4. Доля сопутствующей фауны о.Ряжков в период с 2005 по 2008 гг.

За все года исследований было обнаружено 12 видов сопутствующей фауны на о. Ряжкове.

В пробах собранных в 2005 году большую долю от общей суммы составляют *Oligochaeta*, *Gammarus* и *Maccoma baltica* – 52, 18,6, 14,2% соответственно. В 2006 и 2007 г.г. доминирующими видами оказались *Oligochaeta* (43.8%; 51,5%) и *Hydrobia ulva* (41,4%; 18,6%). *Littorina saxatilis* (12,2%) и *Oligochaeta* (24,5%) в наибольшем количестве были представлены в 2008 году. *Littorina littorea* присутствовала в пробах только за 2008 год в единичном экземпляре.

Таким образом проведенные исследования поселений *Mytilus edulis* на литорали Турего мыса и о. Ряжкого показывают незначительные колебания плотности и биомассы вида. Эти колебания являются обычными в каждом сплошном поселении мидий, существующем длительное время.

#### Литература

- Бергер В.Я. адаптации морских моллюсков к изменениям солености среды. Л., изд-во «Наука». 1986. – 216с.
- Луканин В.В., Наумов А.Д., Федяков В.В. Динамика размерной структуры поселений Беломорских мидий (*Mytilus edulis* L.) // Экологические исследования донных организмов Белого моря. Л., Зоол. Ин-т АН СССР. 1989 – 140с.
- Кауфман З.С. особенности половых циклов Беломорских беспозвоночных. л., изд-во «Наука». 1977. – 265с.
- Кулаковский Э.Е., Шамарин А.Ю. Особенности оседания и роста молоди мидий (*Mytilus edulis* L.) в условиях опытно-промышленного культивирования на Белом море. // Экологические исследования Беломорских организмов. Л., Зоол. Ин-т АН СССР. 1989. – 174с.
- Наумов А.Д., Федяков В.В. Вечно живое Белое море. Л., ЛГУ. 1993. – 176с.
- Федяков В.В. Закономерности распределения моллюсков Белого моря. Л., Зоол. Ин-т АН СССР. 1986. – 176с.

### КАТАЛОГ БИОТЫ БЕЛОМОРСКОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ МГУ: ОПЫТ СОСТАВЛЕНИЯ

Е.Д. Краснова, А.В. Чесунов, Н.М. Калякина

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия  
e-mail: e\_d\_krasnova@wsbs-msu.ru

В 2008 году Беломорская биологическая станция Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (ББС МГУ) – завершила работу над составлением каталога биоты своих окрестностей (Чесунов и др., 2008). Этот труд стал итогом семидесяти лет работы биостанции. Каталог включает 6008 видов организмов, зарегистрированных в окрестностях биостанции на участке площа-

дью около 40 кв. км. В него вошли животные, растения, грибы, лишайники и микроорганизмы из всех сред обитания: моря, пресных водоемов, суши, как свободноживущие, так и паразитические.

Биостанция существует 70 лет, и каждый год, за исключением военных лет, сюда приезжают студенты, преподаватели, исследователи. Каждая студенческая группа отбирает учебный материал: проводят бентосные траления, поднимают планктонные сети, собирают живой материал на литорали. И определяют. Группы исследователей приезжают со своими задачами, выполняют их, публикуют результаты. А попутно накапливается багаж сведений о встреченных видах. Чтобы все эти материалы не остались навеки в полевых дневниках и лабораторных журналах, было решено собрать их воедино и обнародовать. Но, впоследствии задачу расширили: было решено собрать списки ВСЕХ таксонов, от прокариот до высших позвоночных. Если по каким-то группам окажется очень мало информации или не окажется вовсе – то это не беда, напротив, каталог послужит хорошим инструментом, поможет обнажить пробелы в наших познаниях и очертит круг задач для их заполнения.

Ставя такую задачу, редакторы следовали идеологии подробного описания биоты ограниченных участков земной поверхности. Существует международная система каталогов биоразнообразия всех таксонов – ATBI (All Taxa Biodiversity Inventory), нацеленная на создание такого набора видовых списков, который охватил бы разные биогеографические зоны на всех континентах. Первый такой участок был заложен в 1993 году в тропическом лесу Коста Рики, но в 1996 году по политическим причинам проект пришлось закрыть. После этого он был подхвачен в американском национальном парке Great Smoky Mountains в штате Теннесси, потом к нему подключилось еще несколько парков, включая знаменитые парки Акадия и Бостонский на атлантическом побережье США, Yellowstone park. Есть такие участки и в Европе: Национальный парк Mercantour во Франции и Alpi Marittime в Италии. В свете задач ATBI усилия составителей каталогов приобрели новый смысл. Правда, ни в организационном, ни в финансовом плане с той программой мы не были связаны и действовали абсолютно автономно.

Насколько непроста поставленная задача, можно судить хотя бы по тому, что за 15 лет действия программы ATBI полные списки, которые включали бы все группы организмов, пока нигде не составлены, хотя работа кипит. Мы тоже столкнулись с большими трудностями. Дело в том, что традиция составления списков существует далеко не у всех специалистов. Ботаники их, как правило, делают и постоянно обновляют. Но многим морским зоологам это оказалось чуждо. Для составления списков потребовалась дополнительная работа, и немалая. Полученные списки нередко нуждались в серьезной экспертизе и редактировании – чтобы привести названия в соответствие с требованиями зоологической номенклатуры. Потребовалось привлечь экспертов-специалистов по разным группам. Таксономические усилия, затраченные на изучение фауны ББС весьма значительны – в нем принял участие 71 специалист.

Наш каталог описывает локальную биоту ограниченного участка земной поверхности, включающего как морские, так и сухопутные местообитания, типичные для своей климатической зоны. На суше это северотаежные сообщества, представленные разными типами сосняков, сфагновыми болотами, небольшими участками мелколиственных лесов на месте вырубленных сосняков. В береговой зоне есть участки березового криволесья, приморские луга и прибрежные вороничники. В нашем районе берег испытывает быстрое тектоническое поднятие со скоростью 4–6 мм в год, которое началось после таяния последнего покровного оледенения. Из-за такой высокой скорости поднятия берег быстро прирастает, от моря отчленяются мелководные губы, и превращаются в озерки, к суше «прирастают» корги. Этот процесс столь динамичен, что подобные изменения можно наблюдать на протяжении жизни одного исследователя. Карельскому берегу на всем его протяжении, а вместе с ним и нашему участку свойственны многочисленные острова, луды и корги, которые придают району фиардово-шхерный характер.

Морская часть начинается с литорали, очень разнообразной в нашем районе: из всевозможных сочетаний песчаной и илистой фракций, камней, валунов и скальных выходов. Между полуостровом Киндо и островом Великим располагается пролив с сильным течением и глубинами до 50 м. В этом проливе вода не замерзает даже в самые суровые зимы, зато остальная акватория покрывается льдом на 5 месяцев, а в губах лед стоит до 6 месяцев. Донные сообщества расположены зонами: в верхней части литорали – зона солянок, в нижней – фукоиды, в верхней сублиторали – заросли ламинарий, на глубинах более 8 метров – зона багрянок, и илистая пустыня в самой глубокой части. Вблизи биостанции есть порог с сильным течением, который очень рано открывается из-под льда.



По биогеографической принадлежности большинство видов беспозвоночных, обитающих на литорали, относится к бореальному комплексу – основная часть их ареала расположена южнее, а Белое море является крайним северо-восточным пределом их обитания. Ниже, от нуля глубин (уровень максимального отлива) расположена сублиторальная зона. Сообщества животных и растений здесь распределены поясами, которые определяются условиями освещённости и температуры, а в их пределах – характером грунта и трофическими условиями. Здесь соседствуют животные бореального и бореально-арктического комплексов. А в наиболее глубоких местах, где в течение всего года сохраняется температура, близкая к нулю и даже отрицательная, обитает комплекс из небольшого числа типично арктических видов.

В зоопланктоне акватории, охваченной Каталогом, в течение года сменяется два фаунистических комплекса. Весной, летом и осенью здесь царствует мелководный планктонный комплекс из планктонных личинок донных беспозвоночных, а взрослые формы представлены преимущественно бореальными, относительно теплолюбивыми животными, численность которых увеличивается в теплое время года, а в холодное многие виды исчезают. У нескольких видов планктонных рачков, таких как *Centropages hamatus*, *Temora longicornis* и *Acartia bifilosa*, зимуют только покоящиеся яйца, осевшие на дно. Зимой на смену ему из глубоководных центральных частей Белого моря приходят немногочисленные виды арктического комплекса, в частности, копеподы *Metridia longa* и *Calanus glacialis*.

Список видов нашего каталога – представительная выборка для всего комплекса местообитаний, окружающих биостанцию. Принципиальное отличие этого каталога от многих других – отказ от экстраполяций. В нем обозначены только те виды, которые реально встречены на этой территории. Хотя данные есть по значительно большей территории и акватории, все, что оказалось за их пределами, в каталог не включено. Исключение составили два хорошо изученных научных полигона в пределах 20 км от биостанции, и данные с них в каталоге помечены. Кроме того, это первый в России каталог, охватывающий одновременно и морские, и сухопутные местообитания.

В состав биоты ББС МГУ входят: 46 видов бактерий, 104 вида цианобактерий, 462 вида нефотосинтезирующих простейших, 816 видов грибов и грибоподобных (в том числе несколько отделов организмов, в просторечии называемых слизевиками), 168 видов лишайников, 1413 видов водорослей, 650 видов высших растений, 2349 видов многоклеточных животных (включая 823 вида насекомых и 230 видов позвоночных).

Авторитетные специалисты по биоразнообразию Грумбридж и Дженкинс во всемирном атласе биоразнообразия «Живые ресурсы планеты Земля в 21-м веке», опубликованном в 2000 году (Groombridge & Jenkins, 2000), определили число известных видов на Земле в 1,75 млн. Биота ББС составляет от этой величины 0,34%, при том, что площадь биотических исследований составляет всего 0,0 000 078% поверхности планеты, равной 510,2 млн.кв.км. А если учесть, что по направлению к полюсам разнообразие биоты должно уменьшаться, то наш участок представляется очень богатым и – одним из наиболее изученных участков планеты.

Пропорции по числу видов в некоторых группах на нашем участке существенно отличаются от того, что наблюдается на планете в целом.

В некоторых таксономических группах биологическое разнообразие на ББС существенно выше. Это относится к:

- Procaryota (включая Cyanobacteria), которые в районе ББС составляют 2,5%, тогда как на всей планете – лишь 0,20% всех видов живых организмов,
- Protoctista (включая водоросли и зооспоровые грибы), которых на ББС 34,85% против 4,6%,
- грибам, которые, вместе с лишайниками составляют в окрестностях ББС 12,73% от всего общего числа видов против 4,1% в мировой биоте.

Зарегистрированное высокое видовое разнообразие «низших растений», с одной стороны, говорит о хорошей изученности данного участка, а с другой – указывает на особую его значимость в плане поддержания биологического разнообразия. В международных природоохранных кругах популярны программы по созданию экологических сетей из участков, которые играют важную роль в поддержании биологического разнообразия разных таксономических групп. В их числе – программа по созданию сети ключевых ботанических территорий, которая декларирует интерес не только к сосудистым растениям, но и к низшим. Среди критериев ключевых ботанических участков есть так называемый критерий «В» для выделения участков с исключительным флористическим богатством (Андерсон, 2003), и ББС МГУ, безо всякого сомнения, должна рассматриваться как потенциальная

ключевая ботаническая территория международного значения. Ценности добавляет и то, что участки, выделенные для сохранения низших растений во всем мире наперечет.

С высшими растениями, которые, на ББС также хорошо изучены, дело обстоит иначе. На их долю приходится 10,8% биоразнообразия, что мало отличается от их доли в мировой биоте (15,4%).

Выявленный «перекося» в сторону низших растений, оказывается кажущимся, если проверить полноту наших данных с использованием эмпирического индекса, предложенного английским микологом Дэвидом Хоксвортом. Он обнаружил, что в разных районах и разных наземных биотах мира, где хорошо изучены флоры, отношение числа видов сосудистых растений к числу видов грибов довольно стабильно и равно 1:1,4–1,6. На ББС это соотношение 1:1,44 (числа видов соответственно 415:597). Следовательно, никаких диспропорций в разнообразии этих крупных таксонов в реальности нет.

Достаточно полно изучены и наземные позвоночные: число видов птиц и млекопитающих примерно такое же, как в хорошо изученном на этот предмет Кандалакшском заповеднике, расположенном по соседству с ББС. А списки амфибий и рептилий ББС и заповедника вообще совпадают.

Другие группы организмов, в частности, многоклеточные животные, на ББС составляют всего 39,1%, что почти вдвое меньше их доли в глобальной биоте (75,7%), и это, вероятнее всего, указывает на их недостаточную изученность. Это не касается главного объекта нашей биостанции – морских беспозвоночных. И, если число их видов не так уж велико, то велико число таксонов высокого ранга. Из двух аспектов биологического разнообразия: разнообразия видов и разнообразия планов строения, который отражается на числе таксонов более высокого ранга, в частности – классов и типов, первый лидирует на суше, а второй – в море. Из 34 установленных типов многоклеточных животных, в районе ББС имеются представители 22 типов. Сравнивая полученные списки с другими данными о фауне Белого моря, мы обнаруживаем, что на небольшой акватории района ББС сосредоточен 61% фауны всего Белого моря.

Анализ списков позволяет определить, чем объясняется недостаток многоклеточных животных в каталоге биоты ББС: причина в плохой изученности фауны насекомых. В планетарной биоте они составляют 56,4%, а на ББС МГУ – всего 14%.

Составление каталога вскрыло и другие «белые пятна» в изучении биоразнообразия этого участка: совершенно не оказалось данных по таким большим группам как пресноводные и почвенные инфузории, бесцветные свободноживущие и симбиотические жгутиконосцы и голые амёбы. Ничтожно (по отношению к реальному разнообразию) число видов идентифицированных прокариот (кроме сине-зелёных водорослей). В фауне ББС плохо изучены сухопутные беспозвоночные – так, практически нет сведений о почвенных нематодах, многоножках, недостаточно известны клещи и другие паукообразные (есть данные только супралитеральных пауках), крайне непропорционально исследованы отряды крылатых насекомых. Почти не изучена почвенная фауна.

Количество видов организмов, зарегистрированных на ББС МГУ, можно сопоставить с видовым разнообразием Кандалакшского государственного природного заповедника, беломорская часть которого расположена в той же климатической зоне, что и биостанция, а заповедный остров Великий вплотную с нею граничит. К настоящему времени на всей территории заповедника (включая его баренцевоморские участки) выявлено более 9 тысяч видов организмов (Корякин, 2009), и, есть мнение, что это составляет около 40% от действительного числа видов. Существенно большее число видов в заповеднике объясняется не только величиной и разбросом его территории, но и лучшей изученностью некоторых групп, в частности – почвенной фауны и наземных членистоногих.

Поскольку участок, на который распространяются списки каталога, включает разные биотопы, собранные данные позволяют анализировать биологическое разнообразие разных сред жизни. На морские виды здесь приходится 41%, на пресноводные – 17%, на сухопутные – 37%, а остальные обнаруживаются сразу в двух-трёх основных биотопах. В глобальной биоте доля наземных (сухопутные+пресноводные) видов существенно больше – 85% (против 58 на ББС), и отклонение от этой пропорции объясняется морской специализацией биостанции.

Материалы каталога позволяют оценить значение этого участка для глобального биологического разнообразия и науки еще одним способом: в районе ББС МГУ за годы её существования обнаружено и описано 104 новых для науки вида организмов. Большинство из них – микроскопические многоклеточные животные, относящиеся к слабо изученной категории морской мейофауны: свободноживущие нематоды (25 видов) и ракообразные (23 вида, преимущественно гарпактикоидные копеподы). Далее следуют инфу-

зории (17 видов, преимущественно морские интерстициальные), солнечники (6 видов), грибы (в широком смысле, с грибоподобными организмами, 5 видов), грегарины (5 видов), фораминиферы (4 вида), полихеты (4 вида), бактерии (4 вида), морские моллюски (3 вида), энтопрокты (2 вида), зелёные водоросли (2 вида), высшие растения (2 вида), киноринхи (1 вид), коловратки (1 вид, паразит супралиторальных олигохет). Среди новых видов есть представители новых родов (полихеты, тантулокариды) и семейств (копеподы, нематоды), а также такие необычные жизненные формы, как полихеты *Asetocalamyzas* (который сначала был описан как новый вид и род необычных эктопаразитических полихет, а позже оказался карликовым самцом, паразитирующим на самке своего вида), загадочные планктонные ракообразные-фасетотекты *Hansenocaris* с неизвестной взрослой стадией, нематоды, обитающие в толще морского льда или паразитирующие в фораминиферах и в других нематодах. Таким образом, район ББС заслуживает всемерного внимания и бережного отношения еще и потому, что является типовым локалитетом для множества видов из разных царств, некоторые из которых представляют уникальные биологические феномены.

Когда каталог вышел в свет, многие специалисты выразили готовность дополнить его своими данными. Более того, такие списки уже начали поступать. И мы планируем в скором времени сделать электронную пополняемую и оперативно редактируемую версию каталога, которая будет доступна на нашем сайте: <http://wsbs-msu.ru/>.

*Работа поддержана грантом РФФИ 09-04-01212-а.*

### Литература

Андерсон Ш., 2003. Идентификация ключевых ботанических территорий. Руководство по выбору участков в Европе и основа развития этих правил для всего мира. М.: Представительство Всемирного союза охраны природы (IUCN) для России и стран СНГ. 40 с.

Корякин А.С., 2009. Биоразнообразие Кандалакшского заповедника: текущая информация 2009 г. / Сохранение биологического разнообразия наземных и морских экосистем в условиях высоких широт: Материалы Международной научно-практической конференции. Мурманск, 13–15 апреля 2009. Мурманск: МГПУ. С. 126–129.

Чесунов А.В., Н.М. Калякина, Е.Н. Бубнова, 2008. Каталог биоты Беломорской биологической станции МГУ. М.: Т-во научных изданий КМК. 384 с.

Groombridge B., Martin D.J., 2000. World Atlas of Biodiversity. Earth's Living Resources in the 21st Century. University of California Press. 340 pp.

## BIOTA CATALOGUE OF THE WHITE SEA BIOLOGICAL STATION OF THE LOMONOSOV MOSCOW STATE UNIVERSITY: CASE STUDY

**E. Krasnova, A. Tchesunov, N. Kalyakina**

Lomonosov Moscow State University, Department of Biology, Moscow, Russia

e-mail: [e\\_d\\_krasnova@wsbs-msu.ru](mailto:e_d_krasnova@wsbs-msu.ru)

At the end of 2008 the White Sea Biological Station of the Lomonosov Moscow State University had completed and printed catalogue of surrounding biota. The list includes 6008 species found at the area 40 km<sup>2</sup> around of the biological station. There are plants, fungi, lichens, animals, and microorganisms from all habitats including sea, fresh water, land, soil, in the catalogue. The parasitic organisms are presented as well as the free-living ones. Analysis of the species list shows that in spite of some gaps the list is pretty representative for the biota of the north polar circle environment.

## ВЛИЯНИЕ АККУМУЛЯЦИИ РТУТИ НА АКТИВНОСТЬ ПРОТЕОЛИТИЧЕСКИХ ФЕРМЕНТОВ В ЖАБРАХ И МЫШЦАХ ОКУНЕЙ ИЗ ОЗЕР, ПРИЛЕГАЮЩИХ К БИОСТАНЦИИ КАРТЕШ (БЕЛОЕ МОРЕ)

**М.Ю. Крупнова, Н.Н. Немова, В.Т. Комов**

Учреждение Российской академии наук Институт биологии

Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск, Россия

e-mail: [krupnova@bio.krc.karelia.ru](mailto:krupnova@bio.krc.karelia.ru)

Одной из актуальных экологических задач последнего времени является выяснение степени и масштабов загрязнения водоемов Кольского полуострова тяжелыми металлами, в том числе, ртутью.

Этот металл накапливается в различных органах и тканях в концентрациях, значительно превышающих ее содержание в воде, что ведет к изменению ряда показателей метаболизма, в том числе, белковый и липидный обмены (Голованов, Комов, 2005). Ртуть и ее соединения поступают в окружающую среду в виде выбросов промышленных предприятий. Они накапливаются в донных отложениях, задерживаются на водосборе, в результате чего влияние этого металла может сохраняться достаточно продолжительное время (Arctic Pollution, 2002). Известно, что кислотность и гумифицированность (цветность) водоема являются сопутствующими факторами при воздействии ртути на рыб.

Лизосомы и содержащиеся в них гидролитические ферменты играют важную роль в защите организма от чужеродных соединений. (Покровский, Тутельян. 1976). Ртуть и ее соединения активно вступают в химические реакции, входящие в состав каталитического центра цистеинзависимых протеиназ, к которым относится и лизосомальная протеиназа – катепсин В. Ранее было показано, что протеолитическая система лизосом у рыб оказывается весьма чувствительной при воздействии токсикологических факторов различной природы (Немова, 1990; Немова и др., 1994)

Целью данного исследования было определение влияния накопления ртути на активность протеиназ (катепсинов D и В) в мышцах и жабрах окуней. Пробы были отобраны у рыб из нескольких озер, прилегающих к биостанции Картеш (Белое море).

Озеро Кривое является олиготрофным водоемом. Грунты в нем разнообразны (песок, глина, ил), но бедны органическими веществами. Уровень озера на 6 км выше уровня моря, средняя величина цветности за вегетационный период составляет около 25 градусов. Содержание ртути в мышцах окуней из озера Кривое составило 0,09 и 0,15 мг/кг.

Озеро Круглое также является олиготрофным с признаками дистрофного, гумифицированного водоемом (цветность воды в 5 раз больше, чем в оз. Кривое). Мелкое, наибольшая глубина его составляет 3, 5–4, 0 м. Органическое вещество в основном аллохтонное – гумус, вымытый из болотного водосбора. Грунты в нем однородные и представлены коричневым илом, богатым органическими веществами. Определены величины содержания ртути в мышцах окуней из этого озера, мы выделили две группы с содержанием 0,12 и 0,19 мг/кг.

Озеро Жемчужное. Данное озеро является проточным, большего размера по сравнению с другими исследованными озерами, находится ближе к населенным пунктам. Отмечен наибольший уровень содержания ртути в мышцах окуней из этого озера, он составляет 0,28 и 0,6мг/кг веса.

Содержание ртути в биологическом материале определяли с помощью метода атомной абсорбции (Назаренко и др. 1986).

Данные санитарно-гигиенических нормативов РФ по содержанию ртути в различных средах, а именно, в мышцах рыб пресноводных водоемом составляют в 0,3 мг/кг. В данном случае, в мышцах самцов и самок окуней из разных озер, прилегающих к биостанции Картеш, уровень ртути ниже нормативов (оз.Кривое, оз. Круглое) и в 2 раза превышает ПДК в мышцах окуней из оз.Жемчужное.

Определение активности лизосомальных протеиназ – катепсинов D и В проводили в осветленных гомогенатах (центрифугирование при 14000х30мин). Катепсина D – по несколько модифицированному методу Ансона, определение активности катепсина В исследовали по расщеплению его синтетического субстрата (Алексеев, 1968), количество белка в пробе определяли, используя реактив Бредфорд (Bradford, 1976).

Результаты проводимых исследований показали, что активность цистеинзависимой протеиназы катепсина В в жабрах окуней из оз.Кривое и оз.Круглое в несколько раз превышает таковую из оз.Жемчужное. В мышцах окуней из сравнительно «чистых» водоемов различий в активности данного фермента не обнаружено, за исключением снижения в 2 раза этого показателя в мышцах окуней с высоким уровнем ртути (0,6мг/кг) (рис.1).

Активность аспартильной протеиназы – катепсина D, каталитическая способность которого, прямо не зависит от ковалентного связывания реакционных групп активного центра с ртутью, тем не менее, реагирует на степень накопления этого элемента. В жабрах окуней из оз. Круглое и оз. Жемчужное уровень активности снижается в несколько раз, при этом отмечено увеличение этого параметра в мышцах исследованных рыб, особенно в мышцах окуней из оз. Жемчужное (рис.2). Аналогичное увеличение активности данного фермента в мышцах мы наблюдали и при исследовании влияния ртути и разной степени кислотности на окуней из разных озер Карелии. Снижение уровня активности катепсина D в жабрах, которые являются неким «фильтром» и в первую очередь подвергаются влиянию химических соединений, свидетельствуют об участии этого фермента в реализации защитной функции лизосом.

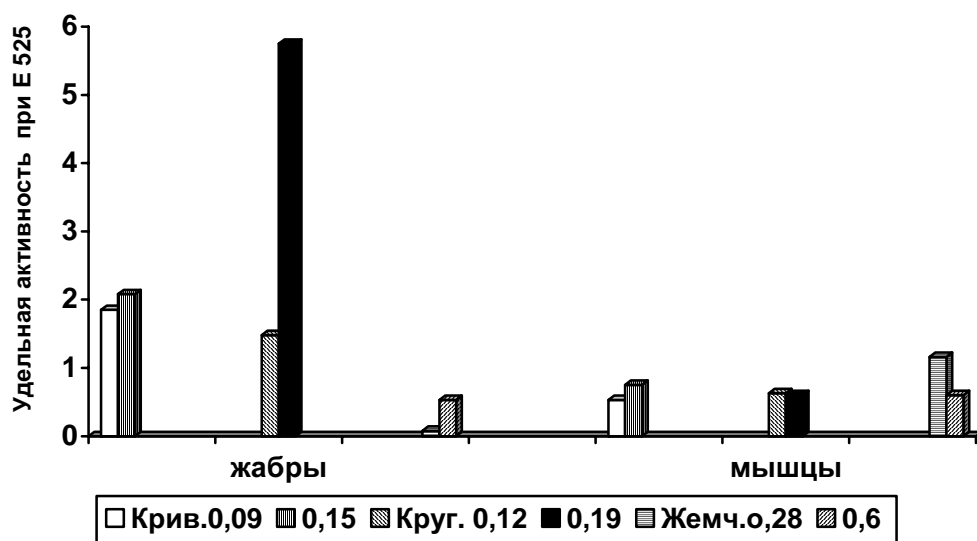


Рис. 1. Удельная активность катепсина В (на мг белка) в жабрах и мышцах окуня *P. fluviatilis* из разных озер Белого моря

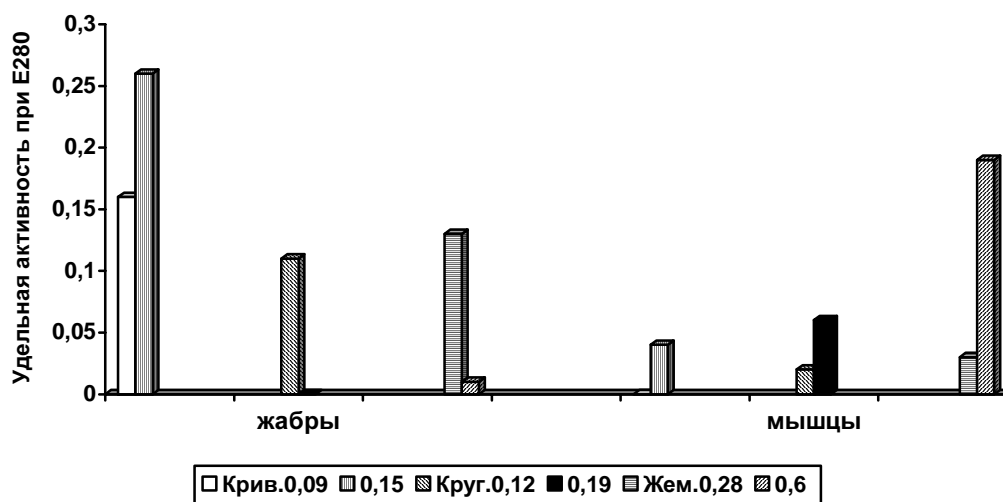


Рис. 2. Удельная активность катепсина D ( на мг белка ) в жабрах и мышцах окуней *P. fluviatilis* из разных озер Белого моря

Исследование содержания белка в жабрах и мышцах окуней показало резкое снижение этого показателя в гомогенатах тканей рыб из оз. Жемчужное, в мышцах которых отмечен наиболее высокий уровень содержания ртути (рис.3). В предыдущих исследованиях отмечалось, что окуни содержание ртути, в которых было более высокое, меньше по размеру и весу, однако, содержание тканевых белков в них выше на 30% в жабрах и на 40-% в мышцах по сравнению с окунями, содержащими ртуть в меньших количествах. Так, содержание тканевых белков в мышцах у самцов и самок окуней из оз. Вуонтеленъярви (темноводное, pH 4,6) несколько выше, чем у окуней из оз. Чучъярви (светловодное, pH 5,0), на фоне снижения этого показателя в печени (Немова, 2005). В данном случае в жабрах и в мышцах окуней из оз. Жемчужное этот показатель ниже в 2 и более раз.

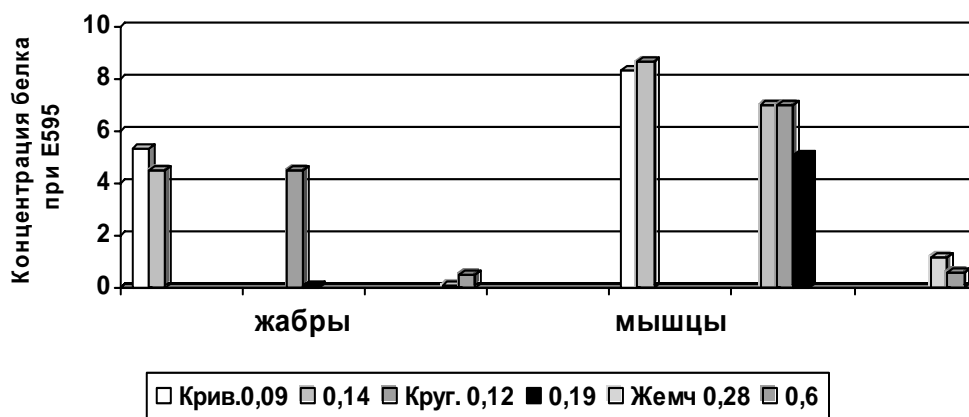


Рис. 3. Содержание белка (мг/мл) в жабрах и мышцах окуней *P. fluviatilis* из разных озер Белого моря

Таким образом, полученные результаты исследования уровня активности изученных ферментов и содержания белка указывают на то, что в организме окуней с различным накоплением ртути наблюдается снижение уровня белка, активация катепсина D в мышцах, и угнетение катепсина B в жабрах. Обе исследованные протеиназы участвуют в реализации защитной (адаптивной) функции лизосом в различных патологических состояниях в организме, однако, в случае влияния тяжелых металлов, особенно ртути наблюдается снижение активности катепсина B, по-видимому, за счет ингибирования каталитически активных остатков цистеина.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ «Ведущие научные школы России» НШ-306.2008.4; гранта РФФИ 08-04-01140, программы ОБН РАН «Биологические ресурсы России».*

#### Литература

- Голованов В.К., Комов В.Т., 2005 Пищеварительные карбогидразы плотвы при различном накоплении ртути в организме. Тез.докл.IV Междун.конф. «Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Севера». Вологда. 2005. Ч.I.с.103–105.
- Комов В.Т. Природное и антропогенное закисление малых озер Северо-Запада России: Причин, последствия, прогноз: Автореф. Дис. ... д-ра биол. Наук. СПб., 1999. 45 с.
- Комов В.Т., Степанова И.К. Гидрохимическая характеристика озер Дарвинского заповедника // Структура и функционирование экосистем кислых озер. СПб.: Наука, 1994. С.31–42.
- Немова Н.Н., Кяйвярайнен Е.И., Крупнова М.Ю., Бондарева Л.А. Активность внутриклеточных протеолитических ферментов в тканях окуня *Perca fluviatilis* с различным содержанием ртути // Вопр. ихтиологии 2001. Т. 41. № 5. С.704–707.
- Немова Н.Н. Биохимические эффекты накопления ртути у рыб. – М: Наука, 2005. 161 с.
- Немова Н.Н., Бондарева Л.А. Протеолитические ферменты: (Учебное пособие). Петрозаводск: КарНЦ РАН. 2005. 91 с.
- Покровский А.А., Тутельян В.А. Лизосомы. М.: Наука, 1976, 351 с.
- Степанова И.К. Оценка эффективности концентрирования растворенного органического вещества методом вымораживания // Гидрохим. Материалы. 1991. Т. 110. С. 95–110.
- Bradford M.M. A Rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding // M.M. Bradford.// Anal Biochem. – 1976. – № 10 – P. 491–497.

#### ОСНОВОПОЛОЖНИК ОТЕЧЕСТВЕННОГО РЫБОВОДСТВА (К 180-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ В.П. ВРАССКОГО: 07.09.1829–10.01.1863).

**Л.А. Кудерский**

Учреждение Российской академии наук Институт озераводства РАН,  
г. Санкт-Петербург, Россия

В сентябре 2009 г. отмечается знаменательная дата в истории отечественного рыбного хозяйства – 180-летие со дня рождения основоположника российского рыбоводства В.П. Врасского (Печ-

ников, 1999). Вклад В.П. Врасского в рыбохозяйственную практику трудно переоценить. Он явился подлинным первопроходцем в неизведанном для того времени деле. В годы, когда начинались его работы по поиску путей разведения рыб, в России практически не было специалистов трудившихся в тех направлениях, которые формулировал и старался развивать В.П. Врасский. Поэтому его начинания, как показала последующая история развития отрасли, носили фактически революционный характер. Оценивая с высот современных достижений рыбоводства, превращающегося в ведущее направление мирового рыбного хозяйства и уже обеспечивающего получение десятков миллионов тонн пищевой продукции в год, можно с полным правом считать, что результаты, полученные В.П. Врасским в этой отрасли человеческой деятельности, имели не узко национальное, российское, но мировое значение. Они стали существенным вкладом в фундамент единой науки о рыбозаведении, которая в настоящее время по своим масштабам расширилась до такого емкого понятия, как аквакультура. В.П. Врасский по праву занимает одно из первых мест среди создателей этого актуального и жизненно важного направления хозяйственной деятельности.

В фигуре В.П. Врасского органически сочетались два творческих начала: внимательного наблюдателя-экспериментатора и практического деятеля способного продуманно решать технические и организационные вопросы постоянно возникающие в процессе конкретной работы. Кроме того, и это необходимо специально подчеркнуть, В.П. Врасский в своей деятельности не стремился все измерять личной выгодой. Во главу угла он ставил общественную пользу. Широко известно, что в многочисленные эксперименты и строительство рыбоводных объектов (пруды, рыбоводные и подсобные помещения и др.) он вкладывал собственные средства и лишь в конце жизни смог получить государственную поддержку. И результаты работ, и бескорыстие их автора были высоко оценены уже современниками (Ласковский, 1899; Рулье и др., 1954).

Оригинальных результатов В.П. Врасскому удалось добиться потому, что он не был слепым подражателем бездумно следовавшим чьим то сторонним советам. С первых шагов своих занятий рыбоводством он старался самостоятельно подходить и к работе с живым материалом и к решению различных организационных и технических вопросов. Именно творческие искания позволили В.П. Врасскому сделать открытие, обессмертившее его имя и создать первенец отечественного рыборазведения – Никольский рыбоводный завод. Необходимо подчеркнуть и такие качества характера В.П. Врасского, как настойчивость в достижении поставленной цели, критический анализ постигавших его неудач и поиск эффективных путей их преодоления.

Впервые вопросами разведения рыб В.П. Врасский заинтересовался в конце 1853 г., прочитав одну брошюру на французском языке (Тихий, 1957; Федюкин, 1970). Он решил, что условия Новгородской губернии, в которой располагалось его имение, и, прежде всего обилие водоемов, благоприятствуют занятиям рыбоводством. Приобретя имевшиеся тогда зарубежные руководства по рыборазведению, он их внимательно проштудировал и, ориентируясь на имевшиеся указания, попытался зимой 1854 г. начать работу с икрой налима, а весной того же года – с икрой плотвы. Обе попытки закончились неудачей (Ласковский, 1899; Федюкин, 1970). Лишь осенью 1854 г. он получил небольшое количество личинок форели, которые прожили ограниченное время и затем погибли. Отходы икры при ее инкубации оказались очень большими. Но неудачи не обескуражили В.П. Врасского. Он начал тщательно анализировать все этапы получения потомства у рыб. Именно этот путь анализа привел его к важным открытиям и чрез них к созданию совершенной технологии, которая в основных чертах сохранилась до настоящего времени. Не стремясь жестко придерживаться хронологии событий, отметим следующие главные достижения, полученные В.П. Врасским. Внимательно наблюдая за состоянием икры, он установил, что в воде она быстро набухает. В результате этого закрывается микропиле и сперматозоид теряет возможность проникнуть в икринку. Тем самым исключается самый первый этап нормального развития икры – оплодотворение. Ряд неожиданных дали наблюдения над поведением сперматозоидов. Оказалось, что в воде их активность сохранялась всего 1,5–2 минуты, после чего они становились неподвижными и оказывались неспособными оплодотворять икру. Установив все это, В.П. Врасский делает решительный шаг. Он отказывается от рекомендованного всеми зарубежными руководствами так называемого «мокрого» способа оплодотворения, при котором икра и затем молоки отцеживаются в посуду наполненную водой. При этом показатели оплодотворения икры оказываются очень низкими, как было в его опытах с форелью или даже нулевыми (эксперименты с икрой налима и плотвы). Отказавшись от «мокрого» способа, В.П. Врасский впервые в мировой практике рыбоводства разрабатывает свой способ,

суть которого сводилась к следующему. Икра от самки отцеживалась в сухую посуду. В другую также сухую посуду отцеживались молоки. Затем молоки слегка разбавлялись водой и этой смесью быстро поливалась икра. Эффект превзошел самые смелые ожидания. Такой метод обеспечивал оплодотворяемость икры до 100%. В.П. Врасский проверил его эффективность на многих рыбах: форели, лососе, налиме, щуке, ерше и других и всегда получал великолепные результаты. Так возник «сухой» способ оплодотворения икры, обеспечивший успех работам В.П. Врасского. В настоящее время этот способ используется рыбоводами всего мира под названием «сухого» или «русского», хотя по справедливости его следовало бы называть методом В.П. Врасского.

При характеристике рыбоводных достижений В.П. Врасского часто ограничиваются описанием открытого им «сухого» способа оплодотворения икры. Но это, безусловно, революционное событие не единственный его вклад в рыбоводство. Наблюдая поведение сперматозоидов в воде и сохранение их активности вне воды, В.П. Врасский установил, что без контакта с водой активность сперматозоидов может сохраняться не считанные минуты, а многие часы и даже сутки. На основании этого он впервые в рыбоводной практике начал хранить молоки в сухих закупоренных пробирках. При этом оказалось, что эффективность такого хранения улучшается при содержании пробирок в холодной воде или на льду. Полученные результаты произвели на В.П. Врасского глубокое впечатление, и он некоторое время считал, что открытый им способ длительного сохранения активности молок является главным достижением его работ. В настоящее время этот способ сохранения молок широко используется в рыбоводной практике, в том числе при перевозке их на далекие расстояния или пересылке по почте. При этом мало кто вспоминает, что автором способа был В.П. Врасский.

Получив великолепные результаты с хранением молок в сухих пробирках, В.П. Врасский решил проверить этот метод на неоплодотворенной икре. Результаты были также положительными. Отцеженная в сухую посуду икра сохраняла способность к оплодотворению после выдерживания в течение многих часов и даже нескольких дней. И энтузиаст-рыбовод делает следующий шаг. Он решает проверить жизнеспособность икры взятой от спнулых самок. С этой целью купленные в Санкт-Петербурге живые производители лосося умерщвлялись, укладывались в тару и по железной дороге и затем на лошадях доставлялись в с. Никольское. Здесь на рыбоводном заводе от самок отбиралась икра, и осуществлялось ее оплодотворение. Результаты оказались положительными.

Благодаря всему комплексу опытов была доказана возможность перевозок в другие хозяйства не живых производителей в воде, а молок и икры в сухой посуде (закупоренные банки). При пониженной температуре (хранение на льду) икра и молоки сохраняли способность к оплодотворению в течение нескольких дней. Это удешевляло и упрощало доставку посадочного материала на большие расстояния.

Важные наблюдения В.П. Врасский выполнил по влиянию температуры на скорость развития икры. Он установил, что повышенные температуры воды ускоряют процесс развития и личинки выклеваются в более ранние сроки. Напротив, пониженные температуры позволяют удлинить развитие икры и тем самым задержать выклев личинок. Эти наблюдения имели большое значение в связи с проблемой кормления личинок. В начале своих занятий разведением рыб В.П. Врасский кормил личинок форели мелко рубленным говяжьим мясом в соответствии с имевшимися в то время рекомендациями. Однако на этом пути он потерпел неудачу. Личинки хватали корм лишь пока крупинки мяса опускались в воду. Но как только мясо оказывалось на дне, личинки уже не обращали на него внимания и не подбирали лежащие кусочки. В итоге засорялись емкости, в которых содержались личинки, и требовалась очень частая уборка остатков корма для предотвращения его разложения и ухудшения тем самым качества воды. Кроме того, личинки успевали съесть только небольшую часть даваемого корма, и значительное количество мяса пропадало. При больших объемах производства это могло значительно удорожать выращивание рыбы. К чести В.П. Врасского он и здесь не остался в плену чужих мнений и быстро нашел выход из сложившейся тупиковой ситуации. Он стал кормить личинок живым кормом – зоопланктоном и другими беспозвоночными, которые отлавливались в пруду. При этом оказались кстати наблюдения над влиянием температуры воды на скорость развития икры. Снабжая инкубационные установки холодной водой поступающей из пруда из подо льда, В.П. Врасский задерживал выклев личинок форели и лосося и переход их на внешнее питание до середины мая, когда в прудах появлялся богатый живой корм.



Необходимо кратко остановиться еще на одном направлении экспериментальных работ В.П. Врасского – гибридизации рыб. Его пытливый ум не мог не заинтересоваться этим вопросом. И он осуществляет опыты по скрещиванию лосося и форели. Цель опытов была одна – получить рыб более продуктивных, более соответствующих интересам искусственного разведения.

В итоге упорных поисков В.П. Врасский в течение нескольких лет создал совершенную по тем временам биотехнику искусственного разведения рыбы. Многие отработанные им методы и приемы вошли в рыбоводную практику и сохранили свое значение и в настоящее время.

Однако для успешного выполнения рыбоводных работ и получения практических результатов одной биотехники мало. Необходима еще и соответствующая ей производственная база. И в этом отношении В.П. Врасский оказался на высоте. Начав экспериментировать в своем рабочем кабинете, он уже в 1855 г. строит первый пруд и рядом с ним небольшое помещение будущего рыбоводного завода. После устранения затруднений с самотечной подачей воды в это помещение, рыбоводный завод заработал с осени 1856 г. Это был хотя и небольшой, но первый рыбоводный завод не только в с. Никольском, но и в России в целом. Как показали дальнейшие работы В.П. Врасского, он рассматривал этот завод лишь в качестве первого шага в создании рыбоводного предприятия. В последующие годы по мере получения новых экспериментальных данных он, не жалея сил и средств, продолжал расширять и совершенствовать завод. В процессе создания завода его хозяин проявил немало изобретательности при решении многих технических вопросов, связанных со строительством дамб и прудов, обеспечением завода и рыбоводных емкостей водой, защитой прудов и построек от возможных повышения уровня воды в реке и т.д. К концу 1862 г. на р. Пестовке был построен каскад прудов сохранившихся до сих пор и обширный рыбоводный цех, в котором можно было одновременно закладывать на инкубацию до 5 млн. шт. икры сига, или 1,2 млн. шт. икры сига, 0,2 млн. шт. икры лосося и 0,5 млн. шт. икры форели. Завод был крупнейшим по тем временам и равного ему по мощности не было долгое время за рубежом.

Планы В.П. Врасского по развитию рыбоводства не ограничивались лишь его собственным именем. Он намечал осуществлять перевозки живой рыбы с мест промысла в города Москву и Санкт-Петербург. С этой целью он сконструировал и построил оригинальную живорыбную барку. На ней был совершен рейс в Астрахань, откуда привозились стерлядь и другие ценные рыбы.

К сожалению, кипучая деятельность В.П. Врасского оборвалась рано. Он умер в возрасте 33 лет, простудившись при зимнем лове рыбы на оз. Пестово.

Рыбоводные работы В.П. Врасского привлекли внимание еще при его жизни. С работами завода знакомились такие крупные ученые, как академик К.М. Бэр, видный ихтиолог К.М. Кесслер, известный ученый профессор Московского университета К.Ф. Рулье и другие. Особенно большую роль в признании работ В.П. Врасского сыграл К.Ф. Рулье и созданная по его настоянию комиссия Комитета акклиматизации животных и растений Московского общества сельского хозяйства. Эта комиссия в составе К.Ф. Рулье, Я.А. Борзенкова и С.А. Усова в ноябре 1857 г. подробно ознакомилась с работами В.П. Врасского и составила обстоятельную записку, являющуюся весомым документом, объективно характеризующим работы В.П. Врасского и высоко оценивающим открытый им «сухой» способ оплодотворения икры рыб (Рулье и др., 1954). На основании доклада комиссии Московское общество сельского хозяйства наградило В.П. Врасского золотой медалью, а в 1859 г. он был удостоен золотой медали Парижского общества акклиматизации (Федюкин, 1970).

В заключение кратко остановимся на истории Никольского рыбоводного завода, который В.П. Врасский, как и свои открытия, оставил в виде наследства российскому обществу. В 1865 г. в уплату за непогашенную ссуду завод перешел в собственность казны, в ведение Министерства государственных имуществ. Этот шаг позволил сохранить завод и в последующие годы расширить его деятельность и влияние на развитие отечественного рыбоводства. К началу XX столетия завод стал выполнять не только производственные функции, но и играть роль показательной опытной станции и школы по подготовке рыбоводов. В составе завода было открыто три отделения: Лужское в Санкт-Петербургской губернии, Юрьевское в Эстонии и Куринское в Азербайджане на р. Куре, а также в Санкт-Петербурге при Петербургском сельскохозяйственном музее. Завод стал выполнять научно-исследовательские работы. При заводе были организованы метеорологическая станция (1891 г.), гидробиологическая (1896 г.) и химическая (1902 г.) лаборатории. С 1899 г. стал издаваться сборник научных работ «Из Никольского рыбоводного завода». Успехи завода в развитии рыбоводства неоднократно отмечались на различных выставках почетными дипломами (Ниж-

ний Новгород – 1896 г.; Берген – 1898 г.), золотыми медалями (Берлин – 1980 г.; Петербург – 1889 г.) и другими наградами (Гримм, 1905, 1931; Лебединцев, 1914; Об улучшении ..., 1905).

В период Великой Отечественной войны завод сильно пострадал. Но в послевоенные годы его пруды периодически использовались сотрудниками ГосНИОРХ для выполнения экспериментальных работ. В настоящее время принимаются меры по восстановлению Никольского рыбоводного завода как первого в России предприятия такого рода. Постепенно восстанавливаются производственные помещения и налаживаются рыбоводные работы. Решено при заводе создать музей истории рыбоводства в России.

В связи со 170-летием со дня рождения В.П. Врасского на Никольском рыбоводном заводе в 1999 г. прошла научно-практическая конференция «Современные достижения в области рыбоводства и воспроизводства рыбных запасов», организованная Росрыбхозом и ГосНИОРХ при участии районной и Новгородской областной администраций (Современные достижения..., 1999). Участники конференции отдали дань уважения заслугам В.П. Врасского, который за свою короткую жизнь сделал ряд выдающихся открытий, решил сложные технические задачи при строительстве завода и на практике наметил реальные пути развития этого направления рыбного хозяйства. Современный бурный рост во всем мире товарного рыбоводства служит яркой иллюстрацией обоснованности предвидений нашего великого соотечественника, основоположника российского рыбоводства.

#### Литература

Гримм О.А. 1905. Обзор деятельности Никольского рыбоводного завода за 50 лет его существования // Из Никольского рыбоводного завода, № 10. С. 1–34.

Гримм О.А. 1931. Рыбоводство. Научные основы и практика рыбоводства / М.-Л.: Гос. Сельхоз. Изд-во. 263 с.

Ласковский В.П. 1899. Владимир Павлович Врасский первый русский рыбовод // Вестник рыбопромышленности, №1. С. 31–37.

Лебединцев А.Л. 1914. Значение Никольского рыбоводного завода и надлежащая постановка его деятельности // Труды совещания по рыбоводству. Петроград, часть 2, вып. 1. С. 164–185.

Об улучшении рыбоводства в озерах и реках Новгородской губернии. 1905. Новгород: Губернская типография. 28 с.

Печников А.С. 1999. Врасский В.П. – основоположник Российского рыбоводства и история создания им Никольского рыбоводного завода // Современные достижения в области рыбоводства и воспроизводства рыбных запасов. С.-Пб: ГосНИОРХ. С. 5–6.

Рулье К.Ф., Борзенков Я.А., Усов С.А. 1954. Об искусственном оплодотворении рыб и рыбоводстве // К.Ф. Рулье. Избранные произведения. М.: Изд-во АН СССР. С. 412–424.

Тихий М.И. 1957. Столетие Никольского рыбоводного завода // Труды совещания по рыбоводству. М.: Изд-во АН СССР. С. 38–45.

Федюкин К.Ф. 1970. Владимир Павлович Врасский (1829–1862) / Л.: Наука. 107 с.

### ИЗМЕНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ РЫБНОГО НАСЕЛЕНИЯ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА С 60-х ГОДОВ XIX СТОЛЕТИЯ ПО 2000 ГОД

Л.А. Кудерский

Учреждение Российской академии наук Институт озераведения РАН,  
г. Санкт-Петербург, Россия

Состояние рыбного населения Онежского озера в последние десятилетия претерпело существенные изменения. Не сбалансированный с имеющимися запасами интенсивный промысел, избирательно использующий наиболее ценные виды рыб, в совокупности с другими формами антропогенного влияния на экосистему водоема (гидростроительство, изменение качества водной среды в результате сбросов загрязняющих веществ промышленными предприятиями, сельскохозяйственными объектами, коммунальным сектором, в недалеком прошлом молевой сплав леса и т.д., а также браконьерский лов) оказали негативное влияние на численность ряда рыб. В результате этого наблюдается антропогенная сукцессия озерного ихтиоценоза, выражающаяся в изменении соотношения между отдельными видами, снижении или даже потере промыслового значения некоторых из них. В структуре рыбного населения существенно сократилась роль озерно-речных видов и рыб с длитель-

ным жизненным циклом, которые замещаются мелкими короткоцикловыми озерными формами. В связи с этим, во-первых, сокращается товарная ценность уловов, во-вторых, возникает угроза сложившемуся биоразнообразию рыбного населения озера. Происходящие изменения в ихтиофауне неоднократно отмечались различными авторами, освещавшими как общее состояние рыбного населения, складывающееся в последний период времени, так и неблагоприятное положение с отдельными видами (озерный лосось, озерная форель, паляя, озерно-речные и озерные сиги, судак и т.д.). Однако в этих публикациях охватывается обычно ограниченные временные отрезки. Кроме того, они часто носят описательный характер и не содержат количественных данных, наглядно отражающих происходящие изменения.

В связи с наблюдающимися существенными преобразованиями, возникает задача анализа динамики рыбного населения за возможно более длительный отрезок времени выраженной в количественных показателях. Наиболее приемлемыми материалами для такого анализа могли бы служить данные официальной промысловой статистики, дополняемые биологическими оценками состояния популяций облавливаемых видов. К сожалению, надежные статистические сведения имеются за относительно короткий период 30-х годов XX столетия и за 1946–1990 гг. Эти данные, безусловно, должны использоваться при анализе состояния рыбного населения. Но они, во-первых, охватывают все же короткий временной промежуток и, во-вторых, характеризуют тот период, во время которого в озере осуществлялся достаточно интенсивный промысел, а его водная система уже усиленно эксплуатировалась различными отраслями народного хозяйства (лесосплав, гидроэнергетика, сброс загрязненных сточных вод и т.д.). Между тем в литературе начиная со второй половины XIX столетия содержится немалая информация, которая при соответствующей обработке могла бы использоваться для анализа состояния рыбного населения озера в целом (и отдельных видов рыб) в различные временные отрезки. В частности, имеются сводные работы по ихтиофауне озера, рыбопромысловые описания, содержащие оценки состояния уловов (и запасов) отдельных видов по водоему и по различным районам, характеристики эксплуатации отдельных видов промыслом и т.п. При использовании всего массива накопленных сведений временной отрезок анализа изменения состояния рыбного населения озера может быть увеличен примерно до 130 лет.

Автор проанализировал литературные источники начиная со второй половины XIX столетия по настоящее время и имеющуюся в них информацию по теме настоящего доклада сгруппировал по следующим четырем периодам: 1) 60-годы XIX столетия (Кесслер, 1868; Данилевский, 1875; Пушкарев, 1900); 2) 30-е годы XX столетия (Покровский, Смирнов, 1932; Покровский, 1939, 1947); 3) вторая половина 50-х – первая половина 60-х годов XX столетия (Александров и др., 1959; Гуляева, Кудерский, 1964; Лузанская, 1965; Рыбы Онежского озера..., 1983; Биологические основы..., 1984); 4) 90-е годы XX столетия (Красная книга Карелии, 1995; Кудерский и др., 1997; Китаев, 1999; Современное состояние..., 2000).

Отличительная черта многих использованных публикаций – качественная оценка (и часто подробная) состояния описанных рыб. Для преобразования имеющегося массива качественных и количественных характеристик в единую систему показателей использовался балльный метод, изложенный в предыдущих работах (Кудерский, 1989; 1996; Кудерский, Печников, 2002) и являющийся разновидностью экспертных оценок. В соответствии с этой методикой состояние каждого вида рыб в озере характеризовалось индексом, состоящим из двух цифр (баллов) соединенных знаком плюс, каждая из которых может принимать значения от 1 до 5. Левая цифра отражает распространенность вида в озере и качественную оценку его обилия, правая – промысловое значение и мероприятия по регулированию промысла и искусственному воспроизводству запасов. При расположении первых цифр по горизонтали и вторых по вертикали получается поле значений индексов, охватывающих весь диапазон возможной изменчивости состояния популяций рыб в данном водоеме. При этом индекс, характеризующий состояние вида, находится на пересечении указанных строк и столбцов. Виды рыб, находящиеся в удовлетворительном состоянии, характеризуются минимальными значениями индекса, находящиеся в критическом или близком к нему состоянии – максимальными. В итоге все поле возможных значений индекса состояния видов может быть представлено следующей матрицей (табл. 1). Общая степень благополучия состояния видов понижается при переходе от левого верхнего угла матрицы к правому нижнему. Она наиболее удовлетворительная при значениях индекса близких к 1+1 и наименее при значениях, приближающихся к 5+5. Образуя подобные индексы для каждого вида по выделенным выше четырем периодам можно в количественной форме выразить изменения во времени состояния каждого конкретного вида, а также всего рыбного населения озера в целом.

Таблица 1

## Индексы состояния видов рыб

Численность и распространённость вида	Промысловое значение вида, меры по регулированию промысла и охране запасов				
	1. – не промысловый, охранные меры не требуются.	2. – промысловый, охранные меры не требуются.	3. – промысловый, достаточны «Правила рыболовства».	4. – промысловый, необходимо искусственное воспроизводство запасов.	5. – состояние критическое, что отражается занесением в «Красную книгу».
1. Широко распространённый, многочисленный.	1+1	1+2	1+3	1+4	–
2. Широко распространённый, малочисленный.	2+1	2+2	2+3	2+4	2+5
3. Ограниченно распространённый, многочисленный.	3+1	3+2	3+3	3+4	–
4. Ограниченно распространённый, малочисленный.	4+1	4+2	4+3	4+4	4+5
5. Редкий, исчезающий	5+1	5+2	5+3	5+4	5+5

Таблица 2

## Индексы состояния видов и форм рыб Онежского озера по периодам

Вид рыб	60-е годы XIX века	30-е годы XX века	Вторая половина 50-х – первая половина 60-х годов XX века	90-е годы XX века
Минога речная	2+2	2+2	2+2	2+2
Лосось озёрный	1+2	1+4	1+4	4+5
Форель озёрная	2+2	2+2	1+4	4+5
Паляя	3+2	3+2	3+3	4+5
Ряпушка	1+2	1+2	1+2	1+3
Сиги озёрно-речные	1+2	1+4	2+4	4+5
Сиги озёрные	1+2	1+3	1+3	1+3
Хариус	2+2	2+3	2+3	2+3
Корюшка	1+2	1+2	1+2	1+2
Щука	1+2	1+2	1+3	1+3
Плотва	1+2	1+2	1+2	1+2
Елец	2+2	2+2	2+2	2+2
Язь	1+2	1+2	1+2	1+3
Гольян	2+1	2+1	2+1	2+1
Пескарь	4+1	4+1	4+1	4+1
Уклея	2+2	2+2	2+2	2+2
Густера	2+2	2+2	2+2	2+2
Лещ	1+2	1+2	1+2	1+3
Карась	4+2	4+2	4+2	4+2
Голец усатый	2+1	2+1	2+1	2+1
Сом	5+2	5+2	5+2	5+5
Угорь	2+2	4+2	5+5	5+5
Налим	1+2	1+2	1+2	1+2
Колюшка 3-х иглая	1+1	1+1	1+1	1+2
Колюшка 9-ти иглая	1+1	1+1	1+1	1+2
Судак	1+2	1+2	1+3	1+3
Окунь	1+2	1+2	1+2	1+2
Ерш	1+2	1+2	1+2	1+2
Подкаменщик пестроногий	4+1	4+1	4+1	4+5
Подкаменщик	2+1	2+1	2+1	2+5

Первый этап выполняемого анализа вспомогательный. Он заключается в составлении уточненного списка видов рыб, зарегистрированных в каждом из выделенных четырех периодов. Общее число видов и форм, вовлеченных в анализ за почти 130-летний отрезок времени принимается равным 30. Для всех них установлены значения индекса состояния в соответствии с изложенным выше методическим приемом. Значение полученных индексов для каждого вида и формы по четырем периодам приведены в табл. 2.

Второй этап анализа сводится к характеристике изменения индекса состояния по каждому виду. Он дает исходный материал для последующей оценки состояния рыбного населения озера в целом. Как видно из табл. 2, из 23 теоретически возможных вариантов индекса состояния видов и форм, отраженных в табл. 1, фактически для Онежского озера установлено 16. Распределение числа видов и форм по периодам по каждому значению индекса состояния представлено в табл. 3. Очевидно, что в 60-е годы XIX столетия все 30 видов и форм не требовали выполнения каких либо охранных или рыбоводных мероприятий. Спустя 70 лет в 30-е годы XX столетия не нуждались в таких мероприятиях 26 видов и форм, еще через примерно 30 лет в конце 50-х – начале 60-х годов XX столетия таких видов и форм осталось 21. Наконец, еще примерно через 40 лет в 90-е годы XX столетия число подобных видов и форм сократилось до 15.

Таблица 3

**Число видов и форм рыб Онежского озера с конкретным значением индекса состояния (по периодам)**

Баллы	1	2	3	4	5	Итого
60-е годы XIX столетия						
1	2	13	–	–	–	15
2	3	7	–	–	–	10
3	–	1	–	–	–	1
4	2	1	–	–	–	3
5	–	1	–	–	–	1
Итого	7	23	–	–	–	30
30-е годы XX столетия						
1	2	10	1	2	–	15
2	3	5	1	–	–	9
3	–	1	–	–	–	1
4	2	2	–	–	–	4
5	–	1	–	–	–	1
Итого	7	19	2	2	–	30
Вторая половина 50-х – первая половина 60-х годов XX столетия						
1	2	8	3	2	–	15
2	3	4	1	1	–	9
3	–	–	1	–	–	1
4	2	1	–	–	–	3
5	–	1	–	–	1	2
Итого	7	14	5	3	1	30
90-е годы XX столетия						
1	–	7	6	–	–	13
2	2	4	1	–	1	8
3	–	–	–	–	–	–
4	1	1	–	–	5	7
5	–	–	–	–	2	2
Итого	3	12	7	–	8	30

Таким образом, в настоящее время, спустя 130 лет после начала отсчета изменений состояния рыбного населения Онежского озера, в нем в специальных мерах поддержания численности не нуждается только 50% видов и форм, против исходных 100%. При этом темпы роста числа видов и форм, требующих выполнения различных мер по охране и искусственному воспроизводству, возросли. Если за первые 70 лет только четыре вида стали нуждаться в специальных мерах охраны и воспроизводства, то спустя еще 60 лет это число возросло еще на 11 видов и форм. Отмеченное явление оказывается следствием нарастающего антропогенного «давления» на экосистему озера.

Приведенные выше индексы состояния видов (табл. 2) допускают выполнение над ними ряда операций, с помощью которых возможно получение количественных показателей, обобщенно отражающих изменения в рыбном населении озера на протяжении анализируемых отрезков времени. Этот прием – третий этап анализа изменения рыбного населения озера. Одной из операций служит получение индекса состояния осредненного (абстрактного) вида, рассчитанного для рыбного населения озера в целом. Вычисление индекса состояния осредненного вида осуществляется следующим образом: для определенного периода времени суммируются все левые (соответственно – правые) цифры индексов состояния по каждому виду и форме и полученная сумма делится на показатель общего числа видов и форм (в нашем случае – 30), составляющих по исходному условию рыбное население озера. В итоге получается искомый индекс состояния некоего абстрактного вида – среднего применительно ко всему рыбному населению. Эти индексы состояния осредненного по всему рыбному населению озера вида оказываются равными:

- 60-е годы XIX столетия.....1,8+1,8
- 30-е годы XX столетия.....1,9+2,0
- вторая половина 50-х – первая половина 60-х годов XX столетия.....1,9+2,3
- 90-е годы XX столетия.....2,2+2,9

Уже сами величины индексов состояния осредненного (абстрактного) вида отражают происходящие в рыбном населении озера неблагоприятные изменения. Так, увеличение левой цифры индекса, отражающей распределение и численность вида, с 1,8 в первом периоде до 2,2 в четвертом (то есть в 1,2 раза) свидетельствует о некотором ухудшении этого показателя: о сокращении распределения и уменьшении численности осредненного вида для озера в целом. Точно также увеличение правой цифры индекса состояния осредненного вида с 1,8 в первом периоде до 2,9 в четвертом (то есть в 1,6 раза) свидетельствует о существенном снижении промысловой значимости осредненного вида и возрастании усилий, необходимых для выполнения мероприятий по охране и искусственному воспроизводству численности.

Еще более наглядно происходящие изменения в рыбном населении отражаются следующим показателем состояния осредненного вида, выражаемым в условных единицах и вычисляемым по формуле:

$$C = (N+L+R) / 3$$

где С – показатель состояния осредненного вида для рыбного населения озера в целом, N – % видов для которых индекс состояния не изменился при переходе от одного промежутка времени к другому, L – средняя левая цифра индекса состояния вида в % к такой же средней для последующего периода времени, R – средняя правая цифра индекса состояния вида в % к такой же средней последующего периода времени. Сумма N, L, R делится на три. Этот показатель удобен в связи с тем, что выражает единой цифрой изменения трех ведущих характеристик состояния осредненного вида при переходе от одного периода времени к другому: индекса состояния, распределения и обилия, промысловой значимости и усилий, необходимых для охраны и воспроизводства численности.

Из структуры этой формулы вытекают следующие общие оценочные выводы: 1) максимальное значение С не превышает 100; 2) по мере увеличения величин левой и правой цифр индекса состояния вида (по сравнению с исходным состоянием) значения L и R уменьшаются, а с ними уменьшается и величина С; 3) уменьшение величины показателя состояния осредненного вида свидетельствует о негативных тенденциях в динамике рыбного населения, причем чем меньше величина С, тем сильнее изменено рыбное население по сравнению с исходным состоянием. Соответствующий расчет по приведенной выше формуле дает следующие величины для показателя состояния осредненного вида для рыбного населения озера в целом (в условных единицах): первый период – 100,0; второй – 89,3; третий – 81,0; четвертый – 62,4. Негативные изменения между состоянием рыбного населения Онежского озера в 60-е годы XIX столетия и в 90-е годы XX выступают достаточно выпукло и количественно отражают сложившееся неблагоприятное положение в рыбной составляющей экосистемы озера, что неоднократно отмечалось в литературе.

Для более определенных выводов о глубине произошедших изменений в рыбном населении озера целесообразно установить возможные (теоретические) пределы колебания значений показателя состояния осредненного вида и положение в этом диапазоне фактического значения С. С этой целью примем следующие граничные данные: 1) состояние всех 30 видов и форм рыб подверглось изменениям; в та-

ком случае величина  $N=0$ ; 2) левая и правая цифры индекса состояния каждого вида и формы достигли предельного значения 5; в этом случае  $L=36,0$  и  $R=36,0$ . Отсюда по приведенной выше формуле  $C=24,0$ . Таким образом, теоретически возможные изменения величины  $C$  для рыбного населения Онежского озера лежат в пределах от 100,0 при неизменном состоянии рыбного населения в начале и конце рассматриваемого периода до 24,0 при максимально возможных изменениях. В этом случае современное фактическое значение  $C=62,4$  находится на расстоянии 37,6 условных единиц от неизменного (исходного) состояния и 38,4 условных единицы от минимально возможного. Если принять, что изменения  $C$  на всем диапазоне значений 100,0–24,0 носят линейный характер, то допустимо считать, что в настоящее время степень изменения рыбного населения озера находится где-то на половине пути между стационарным (исходным) состоянием и полной катастрофой, понимая под последней максимальное изменение индексов состояния всех обитающих в озере видов и форм рыб.

В заключение отметим, что примененный в настоящей работе переход от качественных характеристик, содержащихся в традиционных ихтиологических описаниях, к количественным с помощью балльной методики может быть использован для аналогичных целей и для других водоемов при наличии разнесенных по времени данных по состоянию рыбного населения.

## **СУТОЧНОЕ ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БИОМАССЫ КОПЕПОД СЕТНОГО ЗООПЛАНКТОНА В КАНДАЛАКШСКОМ ЗАЛИВЕ БЕЛОГО МОРЯ В РАЗНЫЕ СЕЗОНЫ**

**И.П. Кутчева, Д.М. Мартынова**

Учреждение Российской академии наук Зоологический Институт РАН,  
г. Санкт-Петербург, Россия  
e-mail: kartesh@gmail.com

### **Введение**

Картина распределения биомассы зоопланктона по сезонам в различных районах Белого моря на разных глубинах представлена в работах Эпштейн (1957, 1963), Перцовой (1970, 1971), Прыгунковой (1977). Большинство работ по изучению вертикального распределения зоопланктона в Белом море проводилось в светлое время суток. Однако миграции зоопланктона могут накладывать большой отпечаток на распределение биомассы (Виноградов, 1968). Данные о том, как она меняется на разных глубинах в течение суток, и как миграции зоопланктона влияют на этот показатель в разные сезоны, практически отсутствуют. Цель данной работы – изучить суточную динамику распределения биомассы копепоид сетного зоопланктона в Белом море в летний и осенний периоды.

### **Материалы и методы**

Исследования проводились 1–2 июля и 28–29 сентября 1998 г. на двух суточных станциях в районе островов Илейки в Кандалакшском заливе Белого моря (66°22.7' N, 33°49.2' E). Глубина здесь составляет 100 м (максимальная глубина Белого моря 343 м). Материал собирался двумя сетями Джеди с различным диаметром ячеей фильтрующего конуса (0.1 и 0.2 мм) по стандартным горизонтам 0–10 м, 10–25 м, 25–50 м, 50–100 м. Сборы были сделаны через каждые 3–4 часа и приурочены к приливно-отливному циклу (8 парных серий, 128 проб). Количественная обработка зоопланктонных проб проведена по стандартной методике (Руководство..., 1980).

В данной работе рассмотрена динамика суточного вертикального распределения биомассы основных видов ракообразных сетного зоопланктона в период исследований. Изучали динамические характеристики девяти видов: *Calanus glacialis*, *Metridia longa*, *Pseudocalanus minutus*, *Oncaea borealis*, *Oithona similis*, *Microsetella norvegica*, *Acartia longiremis*, *Temora longicornis*, *Centropages hamatus*. Учитывались все возрастные стадии, включая науплиальные.

### **Результаты и обсуждение**

В летний период по биомассе доминировал *P. minutus* во всех горизонтах до 50 м в сборах обеими сетями в течение суток (60–80% всей биомассы). В слое 50–100 м главенствовала *M. longa* в дневное время (30–40%), а ночью и здесь *P. minutus* вышел на первое место (52–56%), т.к. часть *M. longa* поднялась вверх и ее биомасса в нижнем горизонте уменьшилась в два раза.

Осенью картина не столь однозначна. Прежде всего, наблюдались различия по составу зоопланктона и его биомассе в слое 0–10 м как в разное время суток, так и в сборах разными сетями. Днем в пробе крупноячейистой сетью доминировала по биомассе *T. longicornis* (57%), а в пробе, взятой более частой сетью – *O. similis* (39%). Ночью их вытеснил *P. minutus* в сборах обеими сетями (48 и 54% соответственно). В слое 10–25 м днем доминировал *P. minutus* (42 и 32% соответственно), хотя в пробе мелкоячейистой сетью биомассы *O. similis* и *P. minutus* практически равны (по 32 %). Ночью доминировала *M. longa*, особенно в сборах крупноячейистой сетью, до 88% всей биомассы. В слое 25–50 м днем преобладал *P. minutus* (73 и 56% соответственно), ночью – *M. longa* (80 и 70%). В слое 50–100 м в течение суток доминировал *P. minutus* (68 и 66% днем, 86 и 78% ночью).

Науплиусы отмечены во всей толще воды. Роль науплиальных стадий копепоид более значительна в летний период. Относительно общей биомассы копепоид их значение максимально в слое 10–25 м (до 10%), а не в слое 0–10 м (до 3%). Глубже они составляли до 2% биомассы и менее. В сентябре науплиусов больше в слое 0–10 м (до 3%), в слое 10–25 м в среднем за сутки 1,4%, глубже их роль в биомассе незначительна.

Картина суточной динамики распределения общей биомассы копепоид по горизонтам была схожа в летний и осенний периоды (рис. 1, 2). Заметное увеличение биомассы копепоид произошло как в июле, так и в сентябре в вечернее и ночное время во всех горизонтах до 50 м. В июле в слое 0–10 м биомасса копепоид увеличилась к 22 ч. в полтора раза, что совпало с фазой полной воды. К 2 ч. она уже снизилась (фаза середины отлива), но превышала дневные показатели и почти не изменилась к 5 ч. утра (фаза малой воды). Далее вновь последовало увеличение значений биомассы. В слое 10–25 м биомасса копепоид увеличивалась более продолжительный период времени. Ее значения были высокими в период с 22 до 4 ч. ночи и превосходили дневные значения более чем в два раза к 2 ч. ночи. В слое 25–50 м биомасса копепоид увеличилась в период с 19 до 24 ч., максимально в 22 ч. – более чем в полтора раза. А вот в слое 50–100 м биомасса копепоид уменьшилась в период с 19 до 4 ч. Особенно это заметно по сборам сетью с ячейей 0.2 мм в 2 ч., почти в два раза. Таким образом, во всех горизонтах отмечено наибольшее изменение величины биомассы в 22 ч., и только в слое 10–25 м она еще более увеличилась и в 2 ч. ночи.

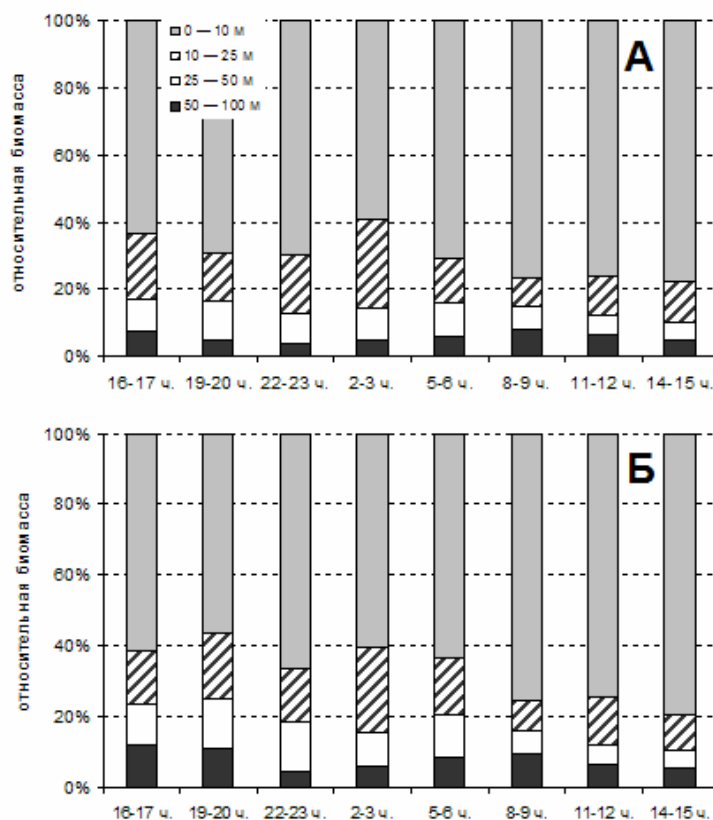


Рис. 1. Динамика биомассы копепоид на суточной станции 1–2 июля 1998 г.

А – диаметр ячеей 0.1 мм; Б – диаметр ячеей 0.2 мм



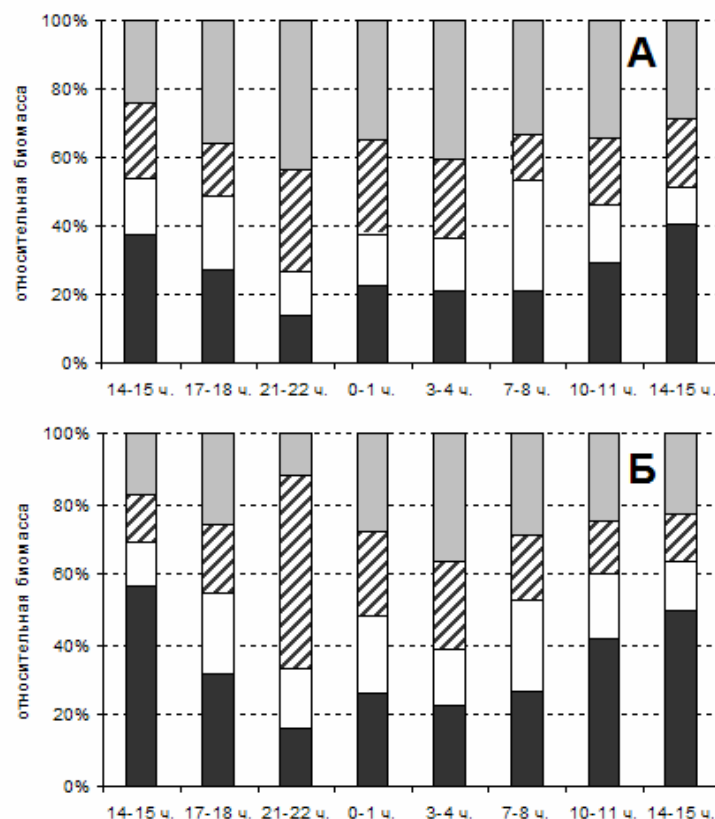


Рис. 2. Динамика биомассы копепод на суточной станции 28–29 сентября 1998 г.  
А – диаметр ячеей 0.1 мм; Б – диаметр ячеей 0.2 мм. Обозначения как на рис. 1

В осенний период в слое 0–10 м заметное увеличение биомассы началось с наступлением сумерек в 19 ч. и держалось более полусуток. Максимально – более чем в 3.3 раза в сборах сетью с ячейей 0.2 мм и в 2.6 раза – сетью с ячейей 0.1 мм в 3 ч. ночи, что совпало с фазой полной воды, как и летом. В слое 10–25 м увеличение биомассы копепод наблюдалось меньший промежуток времени, с 21 до 5 ч. Однако здесь в 22 ч. наблюдалось почти десятикратное увеличение величины биомассы при сборах сетью с ячейей 0.2 мм и почти трехкратное – сетью с ячейей 0.1 мм. В слое 25–50 м величина биомассы также начала увеличиваться с наступлением сумерек, и превышала дневные значения более 12 часов, причем максимальное превышение (в 4 и 3 раза соответственно) наблюдалось в 7 ч. утра, очевидно, когда животные уже опускались. И в слое 50–100 м отмечено уменьшение значений биомассы с 18 ч. до 7 ч. утра.

Изменения биомассы произошли благодаря перемещениям копепод. Летом в ночное время в поверхностных слоях увеличилась численность *P. minutus*, это совпало с фазой полной воды. А осенью в слой 10–25 м в вечернее и ночное время поднялась в массе *M. longa* из нижних горизонтов, за счет этого резко увеличилась биомасса. При этом общая численность зоопланктона в сентябре мало изменилась в отличие от июльских сборов. В июле ночью биомасса *M. longa* стала больше в слое 25–50 м, чем в слое 50–100 м. Небольшое количество самок (1%) попало в слое 10–25 м (что не отразилось на величине биомассы) и не отмечено выше в отличие от осенних миграций. Осенью днем метридия держалась в слое 50–100 м, ночью 10% всей популяции поднялось в слой 0–10 м и 10% осталось в слое 50–100 м, большая часть особей поднялась во второй горизонт.

### Выводы

Таким образом, наибольшие изменения биомассы копепод отмечены в слое 10–25 м как в летний, так и в осенний сезоны. Особенно это проявилось осенью за счет подъема *M. longa*, что несомненно связано с периодом осеннего размножения этого вида. Во всех горизонтах до 50 м произошло увеличение биомассы копепод в ночное время, и только в слое 50–100 м она уменьшилась. В слое 0–10 м заметна связь с фазами прилива.

Возможными механизмами, вызывающими суточные вертикальные миграции копепод, могут быть, с одной стороны, преимущественная фитофагия большинства из них (Перуева, 1984; Martynova et al., unpublished) и, таким образом, стремление к верхним, наиболее богатым фитопланктоном слоям воды. С другой стороны, стремление избежать как поимки их зрительными планктонофагами (Виноградов, 1968), так и окислительного стресса (Martynova, Gordeeva, in press) заставляет рачков мигрировать в светлое время суток в глубокие слои воды.

#### Литература

- Виноградов М. Е., 1968. Вертикальное распределение океанического зоопланктона М.: Наука. М. 319 с.
- Перуева Е. Г., 1984. Сравнительная оценка питания двух массовых копепод Белого моря // Океанология. Т. 24. С. 813–818.
- Перцова Н. М., 1970. Зоопланктон Канда拉克шского залива Белого моря // Тр. ББС МГУ. Т. 3. С. 34–45.
- Перцова Н. М., 1971. О количественном вертикальном распределении зоопланктона в Канда拉克шском заливе Белого моря // Комплексные исследования природы океана. Изд. МГУ. Вып. 2. С. 152–162.
- Прыгункова Р. В., 1977. Зоопланктон Канда拉克шского залива в сравнении с зоопланктоном на декадной станции Д-1 в губе Чупа (Белое море) // Экология морского планктона. Исслед. фауны морей. XIX(XXУП). Л.: Зоологический институт. С.100–108.
- Руководство методам биологического анализа морской воды и донных отложений, 1980. / Ред. А.В. Цыбань Л.: Гидрометеиздат. 191 с.
- Эпштейн Л. М., 1957. Зоопланктон Онежского залива и его значение в питании сельди и молоди рыб // Материалы по комплексному изучению Белого моря. Т. 1. Изд. АН СССР. М.-Л. С. 315–349.
- Эпштейн Л. М., 1963. Зоопланктон Белого моря и его значение в питании сельди // Проблемы использования промысловых ресурсов Белого моря и внутренних водоемов Карелии. Вып. 1. Изд. АН СССР, М.-Л. С. 98–104.
- Martynova D. M., Gordeeva A. V. Light-dependent behaviour of major zooplankton species in the White Sea with some implications to their feeding and life cycle patterns, Journal of Plankton Research, in revision.

### ВЛИЯНИЕ АККУМУЛЯЦИИ РТУТИ НА АКТИВНОСТЬ $Ca^{2+}$ -АКТИВИРУЕМЫХ ПРОТЕИНАЗ В ТКАНЯХ ОКУНЕЙ (*PERCA FLUVIATILIS*) ИЗ ОЗЕР ВБЛИЗИ БИОСТАНЦИИ КАРТЕШ (БЕЛОЕ МОРЕ)

Е.И. Кяйвяряйнен<sup>1</sup>, Е.В. Борвинская<sup>1</sup>, Н.Н. Немова<sup>1</sup>, В.Т. Комов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Учреждение Российской академии наук Институт биологии Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск, Россия

<sup>2</sup>Учреждение Российской академии наук Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Ярославская обл., Россия  
e-mail: hela\_kaiv@mail.ru

В последнее время в связи с возрастающим антропогенным воздействием на окружающую среду значительно возросло внимание к проблеме существования и выживания организмов под воздействием неблагоприятных факторов окружающей среды. Среди неблагоприятных воздействий можно выделить увеличение концентрации токсических агентов, в особенности тяжелых металлов. Попадая в организм они оказывают негативное влияние на все уровни организации, включая субклеточный. Действие на организм токсических и экологических факторов внешней среды сопровождается вовлечением клеточных и молекулярных механизмов регуляции гомеостаза. Среди множества механизмов регуляции внутриклеточного метаболизма важное место занимает протеолиз, т.к. протеолитические ферменты действуют на первом, ключевом этапе метаболизма белковых резервов клетки (Немова, 1996).

Особое место среди тяжелых металлов занимает ртуть, обладающая уникальными экогеохимическими и экотоксикологическими свойствами, обусловленными ее вездесущностью, разнообразием форм существования, повышенной возможностью распределения и биопереноса в окружающей среде, а также широким и разносторонним спектром негативных воздействий на организмы и их популяции (Немова, 2005).

Известно, что ртуть накапливается в водоемах, и в условиях закисления, органической и микробной загрязненности, повышенной цветности воды, связывается с фульвокислотами, образуя опасные ртутьорганические комплексы метилртути (Комов, 1999). Основным путем поступления ртути в организм является её потребление с пищей. С этим связано бионакопление метилртути по водным пищевым

цепям. Метилртуть, накапливаясь в обитающих в воде организмах – растениях, бентосе, животных, концентрируется в верхних трофических звеньях пищевой цепи – рыбе. Так, водные беспозвоночные в основном из-за своего малого размера, короткого жизненного периода и кормления на низком трофическом уровне аккумулируют более низкие концентрации метилртути, чем рыба. Употребление рыбы с большим содержанием метилртути опасно для здоровья. Уровень предельно допустимых значений содержания ртути в мышцах рыб пресноводных водоемов, согласно данным санитарно-гигиенических нормативов РФ по содержанию ртути в различных средах, составляет 0,3 мг/кг.

Метилртуть является более жирорастворимой по сравнению с неорганической формой. Это обеспечивает проникновение MeHg через клеточные мембраны и поражение органов и тканей организма, что ведет к изменению белкового и липидного обмена (Голованова, Комов, 2005). В клетке преимущественным местом аккумуляции ртути является цитозоль, умеренные количества ртути обнаружены в ядерной, митохондриальной и микросомальной фракциях, а в лизосомах не выявлено сколько-нибудь значимое ее накопление (Bose et al., 1993). Ртуть неблагоприятно влияет на целый ряд клеточных функций, включая регулирующие уровень свободного  $\text{Ca}^{2+}$  в цитозоле. Увеличение содержания кальция за счет его высвобождения из внутриклеточных депо происходит сопряженно с накоплением ртути в цитозоле. (Nathanson et al., 1995).

Инструментом клеточно-молекулярных приспособлений служат ферменты, главными функциями которых в клетке являются катализ биохимических реакций и регуляция обмена веществ. Ключевую роль в поддержании метаболического гомеостаза играет протеолитическая ферментная система. Именно с этим связан отрицательный эффект, оказываемый токсикантами на молекулярном уровне. Он заключается в индукции или ингибировании ферментов и ферментных систем и связанных с ними функций.

Кальций-активируемые протеиназы цитозоля (кальпаины) относятся к группе цистеиновых (тиоловых) протеиназ и показывают большую чувствительность к воздействию ртути, поэтому могут служить в качестве биоиндикаторов ртутного воздействия на организм (Немова, 2005).  $\text{Ca}^{2+}$ -активируемые протеиназы являются показателями воздействия ртути по нескольким причинам:

- представляют собой биолиганды для связывания ртути, т.к. содержат структурные и функциональные SH-группы;

- локализованы в цитозоле, преимущественном месте депонирования ртути в клетке;

- проявляют активность, абсолютно зависимую от наличия  $\text{Ca}^{2+}$ , концентрация которого меняется от ртутной нагрузки;

в процессе блокирования ионами ртути тиоловые группы цистеин-зависимых протеиназ теряют свои реакционные свойства, что, в свою очередь, угнетает целый ряд метаболических путей, таких как каскадные процессы образования комплемента, фибринолизиса и др. (Антонов, 1983). Ингибирование цистеинзависимых ферментов снижает скорость белкового обмена и реакций, регулируемых этими ферментами.

Два вида  $\text{Ca}^{2+}$ -зависимых нейтральных протеиназ, активируемых микромолярными (40–100 мкМ) и миллимолярными (1–5 мМ) концентрациями  $\text{Ca}^{2+}$ , – кальпаин I и кальпаин II, могут присутствовать в ткани одновременно, хотя их соотношение может быть различным (Suzuki et al., 1988). Присоединение  $\text{Ca}^{2+}$  приводит к диссоциации молекулы фермента на субъединицы: большую каталитическую 80 кДа и малую регуляторную 30 кДа. Субъединица 80 кДа полностью ферментативно активна.

Объектом исследований был выбран речной окунь *Perca fluviatilis* L. Взрослый окунь является хищником, и в малых озерах Карелии часто занимает положение на вершине водной трофической цепи, накапливая большие концентрации ртути, что может угрожать здоровью человека при потреблении этой рыбы в пищу. Окунь был выловлен из озер Карелии Среднее, Жемчужное, Круглое и Кривое, расположенных вблизи ББС «Картеш» (Белое море). Содержание ртути в биологическом материале определяли с помощью метода атомной абсорбции (Назаренко и др. 1986) в Институте БВВ РАН. По имеющимся данным накопление ртути в мышцах максимально у окуней из озера Жемчужное и превышает ПДК, минимально для окуней из озера Кривое. Уровень ртути ниже нормативов в озерах Кривое, Круглое, Среднее (таб. 1).

Пробы мышц окуней (самки) из озера Круглое выделены в 2 группы с минимальным (min) и максимальным (max) содержанием ртути.

Таблица 1

## Среднее содержание ртути в мышцах окуней из исследованных озер

Озеро	Концентрация ртути в мышцах рыб, мг/кг сырой массы
Круглое ♀	0,12 – min- 0,19 – max)
Кривое ♂	0,09
Жемчужное	0,36 – ♀ 0,38 – ♂
Среднее	0,14 – ♀ 0,15 – ♂

Данные, характеризующие такие свойства озер как кислотность и содержание органического углерода получены для озер Кривое и Круглое (таб. 2).

Таблица 2.

## Характеристика озер Круглое и Кривое

Озеро	Площадь, га	Глубина, м	Содержание органического углерода, мг/л	pH
Круглое	19,0	3,5–4	22,6	5,9–6,7
Кривое	9,98	–	6,4	4,3–4,7

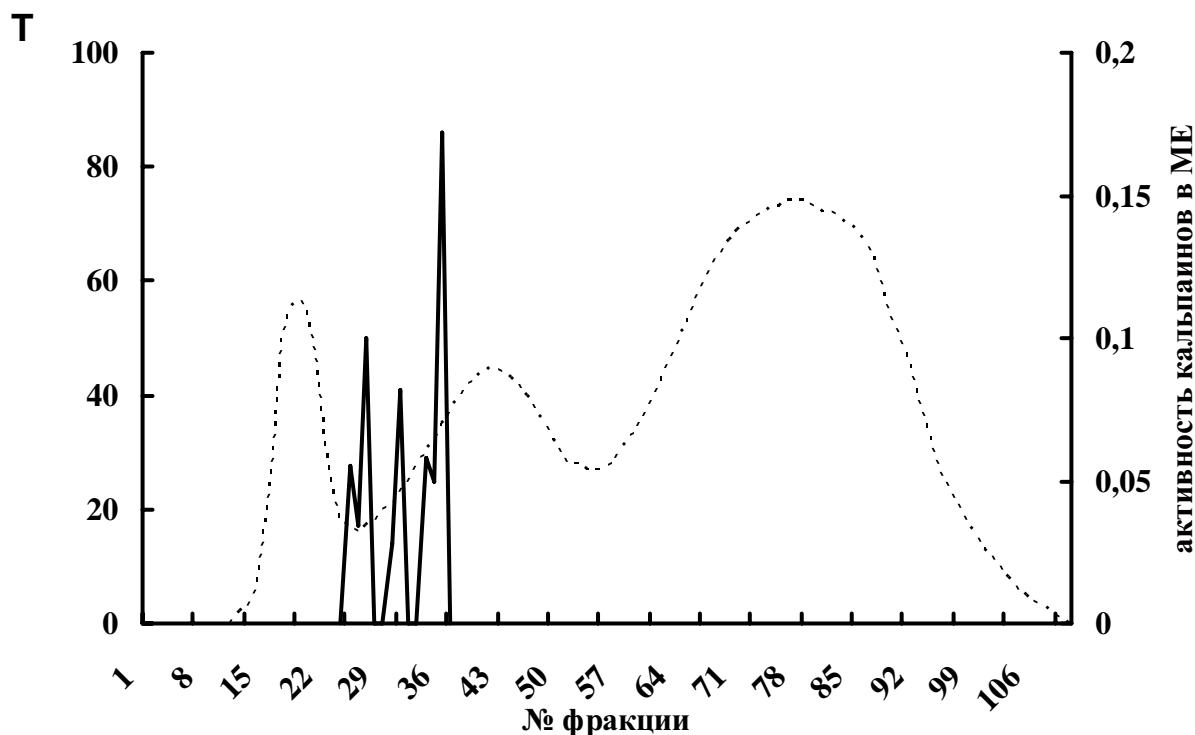


Рис. 1. Профиль распределение водорастворимых белков (-----)  $\text{Ca}^{2+}$ -активируемой активности (—) в мышцах самок окуня (*Perca fluviatilis*) из оз. Среднее.  $T_{280}$  – поглощение белка, ME – международные единицы активности фермента

Профили элюции водорастворимых белков в различных тканях окуня после гель-хроматографии на Sephacryl SH-300 соответствуют распределению белков по молекулярным массам (рис.1). Элюируемые с колонки белки делятся на три пика: первыми с колонки выходят высокомолекулярные белки ( $M_r$  400–110 кДа), затем белки с  $M_r$  в пределах 110–60 кДа, последними – низкомолекулярные вещества белковой природы, пептиды. Протеолитическая активность, инициируемая ионами кальция, согласно методу (Yoshimura

N. et al., 1983), обнаруживается в трех фракциях белкового элюента и определяется как сумма трех пиков активностей (рис.1) в МЕ единицах, соответствующих  $E_{280}/г$  ткани за 30 мин реакции при  $30^{\circ}C$ .

Активность кальций-активируемых протеиназ исследовалась в образцах мышечной ткани как в месте максимального накопления ртути (Немова и др., 2001). В экспериментах сравнивали уровень активности кальпаинов в группах рыб аналогичного пола и возраста, так как показана зависимость активности протеиназ от этих показателей (Немова, 2005).

Полученные в ходе эксперимента результаты по определению уровня активности кальций-зависимых протеиназ (КІ, КІІ и субъединицы) в мышцах окуней, выловленных из всех исследуемых озер, представлены на рис. 2, а также для окуней (самки) из озера Кривое получены данные для различных тканей (жабры, мышцы, печень и гонады) (рис. 3).

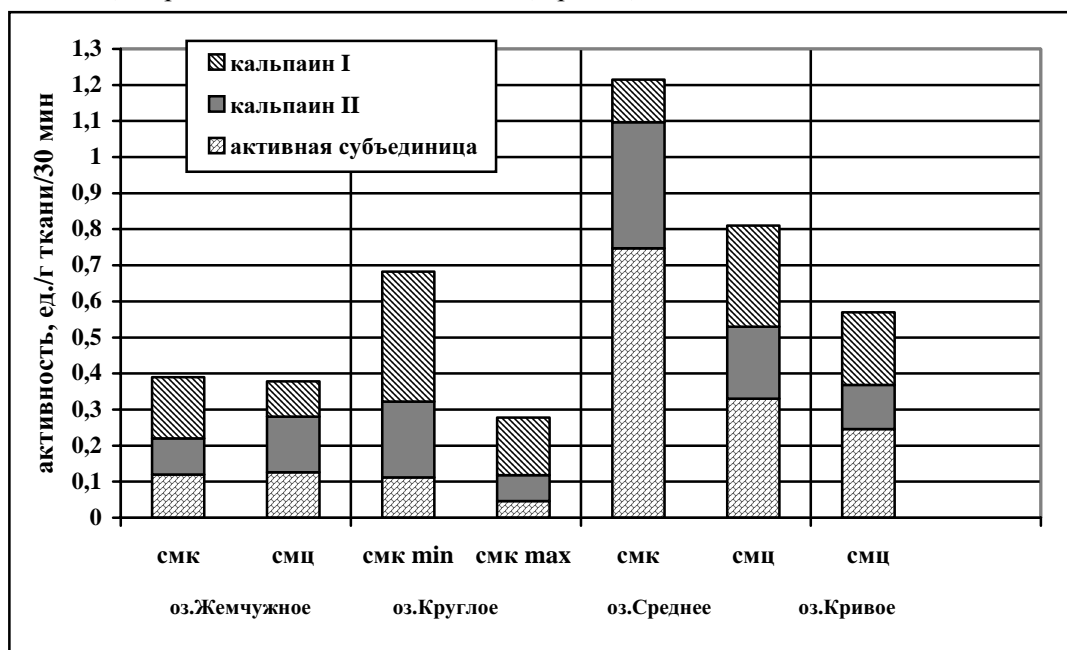


Рис. 2. Уровень  $Ca^{2+}$ -зависимой активности в мышцах окуней (*Perca fluviatilis*) с различным содержанием ртути

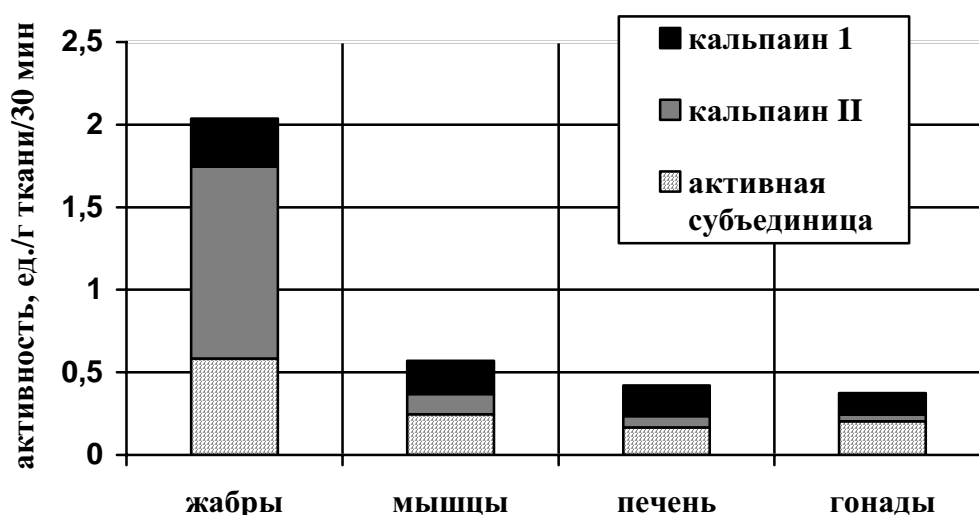


Рис. 3. Уровень  $Ca^{2+}$ -зависимой активности в гонадах, жабрах, печени и мышцах окуня (*Perca fluviatilis*) в расчете на  $г$  ткани из озера Кривое

Как следует из экспериментальных данных (рис. 2) по мышцам окуней из различных озер,  $Ca^{2+}$ -зависимая суммарная активность (кальпаинов I, II и субъединиц) в мышцах окуней из озера Жемчужное, с максимальным содержанием ртути в мышцах, ниже, чем в других образцах. При воз-

растании концентрации ртути в мышечной ткани окуней (самки) из озера Круглое активность цистеин-зависимых протеолитических ферментов уменьшается. Для озера Жемчужное, в котором концентрация ртути в мышцах окуня больше почти в три раза по сравнению с другими озерами, характерна такая же зависимость. Из этого можно сделать вывод об угнетающем эффекте накопления ртути в мышцах окуней на активность фермента. Максимальная суммарная активность кальпаинов характерна для окуней из озер Среднее и Круглое, со средним относительно других озер содержанием ртути в мышцах. Кроме того, отмечено существенное увеличение всех показателей активности кальпаинов у окуней из озера Среднее.

Что касается субъединичной активности, то она максимальна в мышцах самок окуней из озера Среднее, и минимальна в мышцах самок из озера Круглое. Оба озера характеризуются средним содержанием ртути. Для всех проб характерно доминирование субъединичной активности, за исключением озера Круглое, где преобладает активность кальпаина I. Активность субъединицы свидетельствует о неустойчивости фермента в данных условиях.

Второе место по уровню активности, в основном, занимает кальпаин I, хотя его активность меньше там, где преобладает субъединичная активность. Активация кальпаина II косвенно указывает на развитие приспособительных реакций  $\text{Ca}^{2+}$ -зависимого протеолиза в клетке и на развитие патологического процесса. Соотношение активности кальпаина I и кальпаина II при изменении содержания ртути в мышцах меняется.

Сравнивая уровень активности кальпаинов в мышцах у самок и самцов окуней из озер Жемчужное и Среднее, выявили, что суммарная активность фермента выше у самок по сравнению с самцами при почти одинаковом содержании ртути в мышцах. Таким образом, обнаружены различия в активности ферментов  $\text{Ca}^{2+}$ -активируемого протеолиза в зависимости от пола. Это хорошо видно в озере Среднее, особенно по уровню субъединичной активности. У самок активность кальпаинов выше, что, возможно, связано с большей активностью адаптативных реакций. Это указывает на наличие половых различий в механизмах адаптации, запускаемых в ответ на действие неблагоприятных факторов.

Суммарная активность  $\text{Ca}^{2+}$ -активируемых протеиназ в жабрах исследуемых рыб из озера Кривое выше во много раз по сравнению с другими органами (рис. 3). Это связано с тем, что жабры выполняют барьерную функцию и в первую очередь поражаются присутствующими в воде повреждающими агентами. Это вызывает активацию субклеточных адаптативных механизмов, в особенности ферментов протеолиза, в том числе цистеинзависимых протеиназ цитозоля. Существенно меньшую активность  $\text{Ca}^{2+}$ -зависимые протеиназы проявляют в мышцах. Сходный уровень активности в ходе опыта выявлен в тканях печени, для которой характерна фильтрация вредных веществ из крови и связанные с этим активные процессы детоксикации. Минимальная активность кальпаинов определена в гонадах, которая зависит от стадии зрелости (Немова, 1996). Таким образом, показана тканеспецифичность уровня активности  $\text{Ca}^{2+}$ -активируемых протеиназ у исследуемых окуней. Максимальная активность фермента обнаружена в жабрах, затем в мышцах, печени и гонадах.

Обнаружено влияние аккумуляции ртути в мышцах окуней на активность кальпаинов. Цистеин-зависимые ферменты являются мишенью для токсического действия ртути, ионы которой взаимодействуют с тиоловыми группами их активных центров, тем самым лишая их каталитической активности. Даже незначительные концентрации обладают ингибирующим действием на метаболизм клетки и, соответственно, на активность  $\text{Ca}^{2+}$ -зависимой протеолитической системы. Повреждающее действие соединений ртути на молекулярном уровне проявляется в ингибировании ферментов, необратимых конформационных изменениях белковых макромолекул и, как следствие, изменение скорости процессов метаболизма.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ «Ведущие научные школы России» НШ-306.2008.4; гранта РФФИ 08-04-01140, программы ОБН РАН «Биологические ресурсы России».*

#### Литература

- Антонов В.К. Химия протеолиза. М.: Мир, 1983. 367 с.  
Голованова И.Л., Комов В.Т. Пищеварительные карбогидразы плотвы при различном накоплении ртути в организме. Тез.докл.IV Междун.конф. «Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Севера» Вологда. 2005. Ч.I. С. 103–105.

Комов В.Т. Природное и антропогенное закисление малых озер Северо-Запада России: Причин, последствия, прогноз: Автореф. дис. ... докт.биол.наук. СПб., 1999. 45 с.

Назаренко И.И., Кислосева И.В., Кашина Л.И и др. Атомно-адсорбционное определение ртути в водах после сорбционного концентрирования на полимерном тиозфире // Журн.аналит.химии. 1986. Т. 11, № 8. С. 1385–1390.

Немова Н.Н. Внутриклеточные протеолитические ферменты у рыб. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1996. 216 с.

Немова Н.Н. Биохимические эффекты накопления ртути у рыб. М: Наука, 2005. 161 с.

Немова Н.Н., Кйявярйнен Е.И., Крупнова М.Ю., Бондарева Л.А. Активность внутриклеточных протеолитических ферментов в тканях окуня *Perca fluviatilis* с различным содержанием ртути // Вопр.ихтиол. 2001. Т. 41. № 5. С.704–707.

Bose S., Ghosh P., Bhattacharya S. Distribution kinetics of inorganic mercury in the subcellular fractions of fish liver // Sci.Total Environ. 1993. Supplement, pt.1. P.533–538.

Nathanson M.H., Mariwalla K., Ballatori N., Boyer J.L. Effects of  $Hg^{2+}$  on cytosolic  $Ca^{2+}$  in isolated skate hepatocytes // Cell.Calcium. 1995. Vol.18, N5. P.429–439.

Suzuki K., Imajoh S., Emori Y. et al. Regulation of activity of calpain // Adv/Enzymol.Regulat/ 1988. Vol. 27. P. 153–162.

Yoshimura N., Kikuchi T., Sasaki T., Kitahara A., Hatanaka M., Murachi T. Two distinct Ca-proteases (calpain I and calpain II) purified concurrently by the same method from rat kidney. J.Biol.Chem. 1983. Vol.258. P. 8883–8889.

### **EFFECT OF ACCUMULATION OF MERCURY ON ACTIVITY $Ca^{2+}$ -ACTIVATED PROTEINASES IN TISSUES OF PERCHES (*PERCA FLUVIATILIS* L.) FROM LAKES NEAR BIOLOGICAL RESEARCH STATION KARTESH (WHITE SEA).**

<sup>1</sup>Kaivarainen E., <sup>1</sup>Borvinskaya E., <sup>1</sup>Nemova N., <sup>2</sup>Komov V.

<sup>1</sup>Institute of Biology KRC RAS Petrozavodsk E-mail: hela\_kaiv@mail.ru

<sup>2</sup>Institute of Internal Water Biology RAS

^Influence of accumulation of mercury in muscles of perches from lakes near White sea on activity of cysteine Ca-dependent proteinases is revealed. It is connected with inhibition of cysteine enzymes as a result of interaction mercury with thiol groups of their active centers.

### **ОСОБЕННОСТИ МИТОХОНДРИАЛЬНОГО ГЕНОМА НА ПРИМЕРЕ ЦИТОХРОМА В АЛТАЙСКИХ ОСМАНОВ (*OREOLEUCISCUS WARPACHOWSKI*) МОНГОЛИИ**

**Е.И. Лаврова, Ю.В. Слынько**

Учреждение Российской академии наук Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН,  
п. Борок, Ярославская обл., Россия  
e-mail: lavr@ibiw.yaroslavl.ru

Алтайские османы, принадлежащие к роду *Oreoleuciscus Warp.*, представляют своеобразную группу карповых рыб. Они являются характерными обитателями внутренних водоемов северо-западной Монголии, бессточных озер Монгольского Гоби и юго-восточного Алтая.

Попытки характеристики различных видов этого рода показали, что морфологические признаки османа довольно изменчивы не только у рыб из различных водоемов, но даже и у особей из одного и того же водоема. Затрудняет решение вопроса также наличие в некоторых водоемах крупных и мелких форм, представленных половозрелыми особями резко различного размера.

В последнее время для решения подобных таксономических проблем, а также для выяснения родственных связей и эволюции таксонов в различных группах организмов (как животных, так и растительных) широко применяются молекулярно-генетические методы исследований.

В этой связи нами предпринята попытка найти универсальный метод идентификации рыб, относящихся к данному роду, обитающих в различных регионах Монголии. В данной работе приведены первые, предварительные результаты исследований митохондриальной ДНК (мтДНК) монгольских османов.

Материалом для исследования послужили образцы мышечной ткани рыб, фиксированные в 96%-ном этиловом спирте. Были проанализированы выборки из следующих водоемов: озера Сангийн-Далай-Нур (большое и малое), оз. Тэлмен-Нур, оз. Хага-Нур, оз. Бон-Цаган-Нур, оз. Толбо-Нур, оз. Увс-Нур и реки Тацын-Гол. Изменчивость мтДНК исследована с помощью анализа полиморфизма длины рестрикционных фрагментов (ПДРФ) гена цитохрома b (длина 1050 пар нуклеотидов), амплифицированного в полимеразной цепной реакции (ПЦР). ДНК выделена по стандартной методике, включающей лизис ткани 1%-ным SDS в присутствии протеиназы К (0,2 мг/мл) и депротеинизацию фенолом. Для ПЦР использованы олигонуклеотидные праймеры, разработанные для анализа цитохрома b у карповых рыб:

№	Наименование праймера	Sequence (5'-3')
1	Phox-Cytb-F	GAAAGACTCACCCGCTAATAAAAATCGC
2	Phox-Cyt-R	CACGCTAAGCTACTAGGGCAAGCTC
3	Phox-Cytb-GluF	GAAGAACCACCGTTGTTATTCAA
4	Phox-Thr-R	ACCTCCRATCTYCGGATTACA

Амплификация проведена в 25 мкл реакционной смеси, содержащей по 1 мкл разведенного праймера, 2,5 мкл 10-кратной смеси dNTP, 2,5 мкл Taq-буфера, 0,5 единицы активности Taq ДНК-полимеразы и 100–200 нг тотальной ДНК, в течение 30 циклов в температурном режиме: 95° С – 1 мин, 50° С – 1 мин, 72° С – 1 мин.

Для рестрикционного анализа гена цитохрома b митохондриальной ДНК использован набор из пяти эндонуклеаз рестрикции: Hinf I (сайт рестрикции GANTC), Ava II (GGA/TCC), Rsa I (GTAC), Hae III (GGCC), Alu I (AGCT). После предварительного анализа было решено остановиться на первых трех эндонуклеазах. Alu I показала отсутствие специфических сайтов рестрикции.

Фрагменты рестрикции митохондриальной ДНК разделены с помощью электрофореза в 1,5%-ном агарозном геле и в 5%-ном полиакриламидном геле в трис-боратном буфере. Для определения длины полученных фрагментов использованы маркерные наборы фрагментов ДНК, кратных 100 пн и 50 пн. Гели были окрашены бромистым этидием и сфотографированы в УФ-свете. Для получения более тонких результатов ПЦР-продукт анализировали одновременно двумя рестриктазами и разгоняли в 5% акриламидном геле, что дало возможность построить рестриктную карту (для выборок Сангийн-Далай-Нур, Тэлмен-Нур, Хага-Нур) (Рис.1).

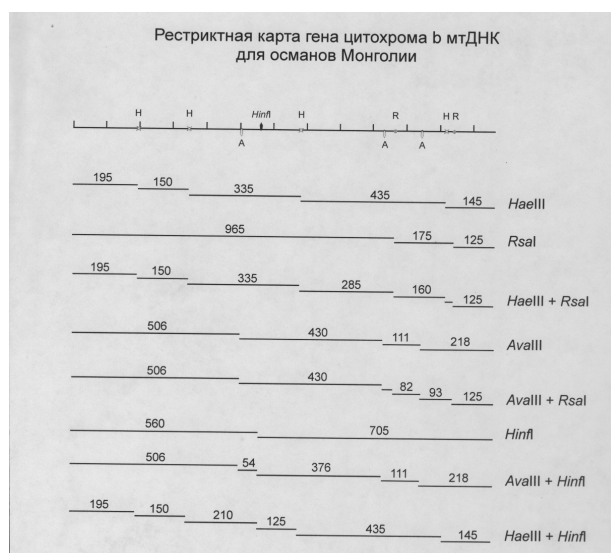


Рис. 1. Рестриктная карта гена цитохрома b мтДНК для османов Монголии

Количество сайтов рестрикции по проанализированным эндонуклеазам следующее: Hinf I – 1, Ava II – 3, Rsa I – 2, Hae III – 4, Alu I – 0. Анализ рестриктных сайтов показал отсутствие полиморфизма по данным эндонуклеаз во всех исследованных выборках, кроме одной – Бон-Цаган-Нур. Кроме того османы Бассейна Долины озер (Бон-Цаган-Нур, Тацын-Гол) имеют явные отличия в расположении сайтов рестрикции по эндонуклеазе Hinf I (Рис.2).



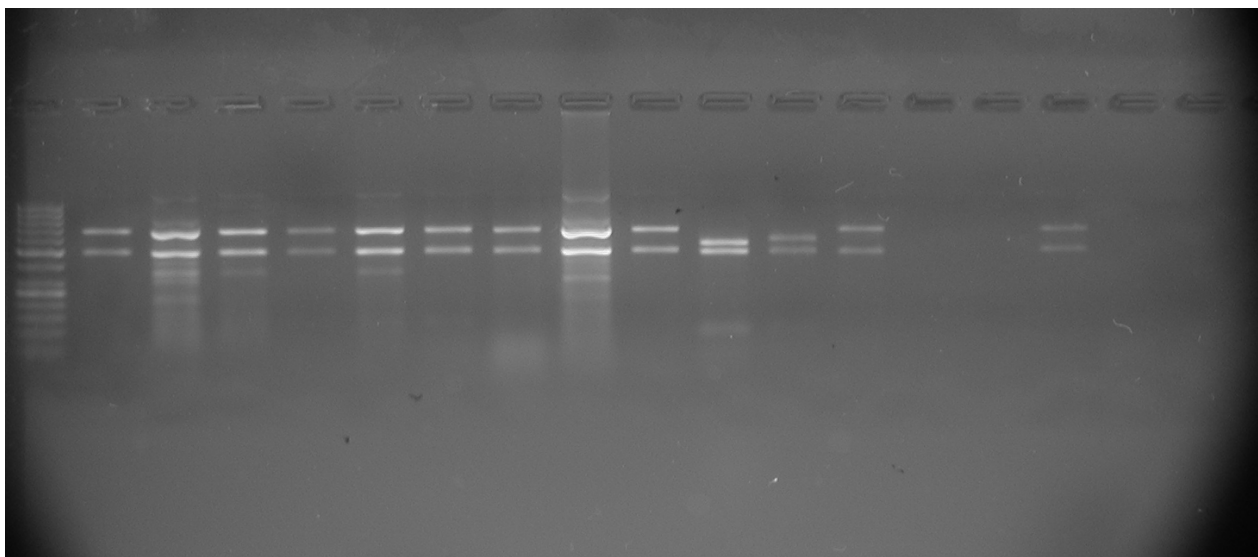


Рис. 2. Форез рестрикции по эндонуклеазе Hinf I: 1–3 дорожки – Сангийн-Далай-Нур (большое), 4–6 – Тэлмен-Нур, 7–9 – Хага-Нур, 10–12 – Бон-Цаган-Нур

Полученные первые данные рестриктоного анализа гена цитохрома b мтДНК монгольского османа свидетельствуют о консервативности большинства исследованных выборок по данному гену. Но некоторые результаты (различия у особей из бассейна Долины озер) требуют дальнейших детальных исследований – секвенирования.

#### Литература

- Алтухов Ю.П., 2003. Генетические процессы в популяциях. 3-е изд., перераб и доп. М.ИКИЦ «Академкнига».
- Кафанова В.В., 1961. Материалы к систематике алтайских османов рода *Oreoleuciscus* Warpachowski // Вопросы ихтиологии. Т. I. Вып. 1(18). С. 9–18.
- Sasaki T., Kartavtsev Y.P. et al., 2007. Genetic divergence and phylogenetic independence of Far Eastern species in subfamily Leuciscinae (Pisces: Cyprinidae) inferred from mitochondrial DNA analyses // Genes Genet. Syst. 82. P. 329–340.
- Zardova R., Doadrio I., 1998. Phylogenetic relationships of Iberian cyprinids: systematic and biogeographical implications // The Royal Society. Proc. R. Soc. Land. B 265. P. 1365–1372.

### THE MITOCHONDRIAL GENOME CHARACTERISTICS BY THE EXAMPLE OF CYTOCHROME b AT ALTAI OSMANS (*OREOLEUCISCUS WARPACHOWSKI*) OF MONGOLIA

E.I. Lavrova, Yu.V. Slynko

Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences,  
Borok, Yaroslavl reg., Russia, e-mail: lavr@ibiw.yaroslavl.ru

Altai osmans (*Oreoleuciscus Warpachowski*) represent an original group of Cyprinidae. They are the representative inhabitants of internal reservoirs (inland waters) of northwest Mongolia, internal-drainage lakes of the Mongolian Gobi and the southeast Altai. The attempts to characterize the different species of this genus have shown the sufficient variability of morphological signs not only at fishes from various reservoirs, but even at individuals from the same one. The presence in some reservoirs large and small morphological forms presented by mature fishes of sharply various sizes also complicates the question decision. Thus an attempt to find a universal method of identification the fishes belonging to the given genus and living in various regions of Mongolia was made. At given work the first preliminary results of researches on mitochondrial DNA (mtd DNA) of Mongolian osmans are presented. For the restriction analysis of gene cytochrome b at mitochondrial DNA the set from five endonucleases of restriction was used: Hinf I (restriction site

GANTC), Ava II (GGA/TCC), Rsa I (GTAC), Hae III (GGCC), Alu I (AGCT). The quantity of restriction sites concerning the analyzed endonucleases is the following: Hinf I – 1, Ava II – 3, Rsa I – 2, Hae III – 4, Alu I – 0. The analysis of restriction sites has shown the absence of polymorphism by endonucleases data at all investigated samples, except one – Bon-tzagan-nur. Besides the osmans from of the Lake Valley basin (Bon-tzagan-nur, Taytzyngol) have the obvious differences in arrangement of restriction sites of endonuclease Hinf I.

## **СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ РАЗНООБРАЗИЕ МИКРООРГАНИЗМОВ В ЛЕСНЫХ ЛАМБАХ ЮЖНОЙ КАРЕЛИИ**

**Н.А. Лаптева, Е.А. Соколова**

Учреждение Российской академии наук Институт биологии внутренних вод  
им. И.Д. Папанина РАН, Борок, Ярославская обл., Россия  
e-mail: lap@ibiw.yaroslavl.ru

Малые озера Карелии (лесные ламбы) в разной степени испытывают влияние болотных вод и содержат значительное количество гуматов. Это небольшие, слабопроточные озера с малой глубиной, площадь водосбора и питание которых обеспечивается в основном стоком окружающих болот. Особенности химического состава воды и степень трофности ламб определяются типом болот (верховые или низинные) (Харкевич, 1960).

В основу подбора ламб для исследования сообществ микроорганизмов были положены их характеристики: разная степень гумификации, неравномерное распределение по вертикали физико-химических параметров в период стагнации. Задачей настоящей работы было изучение распределения микроорганизмов и их структурно-функционального разнообразия в разных экологических зонах озер.

### **Материалы и методы исследования**

Обследованные озера – Лесная ламба, Крюкламба, Габозеро и ламбы Вороновская–1 и 2 расположены вблизи г. Петрозаводска в районе с. Кончезеро; Куалика, Корбламба – в п. Вешкелицы Суоярвического района. Образцы проб были отобраны в августе 1983 г. в период температурной стратификации. Определяли общую численность бактерий, количество гетеротрофных и сульфатредуцирующих бактерий (Романенко, Кузнецов, 1974). Морфологическое и видовое разнообразие микроорганизмов изучали под световым и электронным микроскопами (Лаптева, 1976). Анализировали физико-химические параметры по методикам (Алекин и др., 1973, Романенко и др., 1990). Из функциональных показателей определяли первичную и бактериальную продукцию в воде и скорость сульфатредукции в илах радиоизотопным методом, аэробную деструкцию – кислородным методом.

### **Результаты и обсуждение**

Озера входят в зону низкоминерализованных вод подзолисто-болотных почв и различаются по уровню трофии. Ламбы гумифицированы в разной степени. Значения pH снижались соответственно увеличению гумификации (табл. 1). Самая высокая цветность ( $150^0$  в поверхностном слое воды и  $260^0$  у дна) отмечена в дистрофной Крюкламбе, а наиболее низкие значения ( $5\text{--}20^0$ ) – в олиготрофной и евтрофной Вороновской ламбе–1 и 2. Значительная цветность воды у дна ( $250^0$ ) зарегистрирована в евтрофной Корбламбе. По температурному режиму исследованные озера относились к димиктическим. В придонных горизонтах температура была постоянно низкой, от 4 до 8°C. Снижение температуры сопровождалось, как правило, уменьшением кислорода до нулевых значений в придонных слоях, за исключением Вороновской ламбы–2. В дистрофной Крюкламбе и евтрофной Куалике кислород исчезал на верхней границе гипolimниона. Неравномерное распределение по вертикали температуры, кислорода, закисных форм железа и марганца создавали четко разграниченные экологические ниши для благоприятного развития различных групп бактерий (Дубинина, 1976).

Это наложило существенный отпечаток на специфику протекания микробиологических процессов в озерах. Распределение бактерий по вертикали было неравномерным (табл. 1). Минимальное их количество наблюдали в поверхностном слое воды, резкое увеличение – в слое термоклина

и максимум – в придонных горизонтах. Это связано со скоплением в этих зонах детрита и отмершего фитопланктона. Автохтонное органическое вещество (ОВ) в исследованных ламбах образовывалось за счет фотосинтеза фитопланктона, а в мезотрофных и евтрофных озерах в верхней зоне гипolimниона и за счет фотосинтезирующих серобактерий (табл. 2). Наиболее интенсивно фотосинтез водорослей протекал в поверхностном слое евтрофных неглубоких ламб Карасево и Куалика (до 290 мкгС/(л·сут)) (табл. 2). С глубиной он снижался и на 3.5 м составлял 50 мкгС/(л·сут) и 11 мкгС/(л·сут) соответственно. Бактериальный фотосинтез зарегистрировали в евтрофной Корбламбе на границе сероводородной зоны при резком снижении кислорода в условиях проникновения света. В олигогумозных ламбах максимум фотосинтеза фитопланктона 65–70 мкгС/(л·сут) был определен в 3-х метровом слое воды, в полигумозной Крюкламбе при прозрачности 0.65 м он был отмечен у поверхности и снижался с глубиной. Деструкционные процессы шли более интенсивно по сравнению с первичной продукцией. Значительные величины (0.5 мкгС/(л·сут) и 0.87 мкгС/(л·сут)) зарегистрированы в евтрофных озерах Корбламба и Карасево на глубинах 0.2 и 3.0 м соответственно (табл. 2). В евтрофной Вороновской ламбе максимальная величина была отмечена в придонных горизонтах при содержании кислорода 1.5 мг/л. С меньшей скоростью распад ОВ происходил в олиготрофной и мезотрофной ламбах. Биосинтетическая активность бактерий невысока в поверхностных слоях олиготрофной и дистрофной ламб. Темновая фиксация углекислоты в мезотрофной и в евтрофных мезогумозных ламбах увеличивалась от слоя термоклина до придонных горизонтов. В дистрофной ламбе бактериальная продукция превышала первичную продукцию в поверхностном слое воды, а в мезотрофной ламбе – по всей глубине водной толщи. В евтрофных ламбах наибольшая бактериальная продукция отмечена в термокLINE.

Таблица 1

**Вертикальное распределение бактерий и физико-химических факторов в лесных ламбах Карелии**

Озеро	Глубина, м	Температура, °С	Содержание O <sub>2</sub> , г/л	Цветность, °	ОЧБ, млн.кл./мл	Карбонаты, мгС/л
Крюкламба	0.2	20.0	6.5	140	3.6	2.4
	1.5	18.0	3.0	–	4.0	2.8
	2.0	14.5	1.1	150	3.5	8.2
	3.0	10.0	1.3	–	–	7.7
	3.5	8.5	0.5	150	2.7	–
	8.0	4.4	0	260	1.8	15.8
Вороновская–1	0.2	21.0	–	5	2.1	2.4
	3.0	20.0	6.9	10	4.0	2.4
	5.0	16.0	6.9	10	1.1	2.4
	7.0	10.0	0.3	20	7.3	3.1
	13.0	5.0	0	35	3.1	1.9
Лесная ламба	0.2	20.5	5.0	50	2.2	12.0
	2.0	18.0	2.9	50	9.7	21.6
	4.0	7.0	0	130	2.5	29.7
Вороновская–2	0.2	19.5	6.5	20	4.6	2.4
	3.0	18.5	4.0	20	2.1	8.2
	3.5	16.5	3.0	20	1.8	2.9
	4.5	12.0	1.5	20	5.6	4.8
Корбламба	0.2	16.5	8.1	20	0.6	4.8
	3.0	16.0	8.0	20	1.7	14.4
	4.0	10.0	0.2	200	4.3	45.0
	4.5	8.0	0	250	5.3	52.8
Куалика	0.2	15.5	7.5	30	0.1	1.2
	2.0	15.5	2.6	30	–	3.8
	3.0	14.3	–	30	–	–
	3.5	13.5	1.8	30	1.4	3.8
	4.0	9.5	1.4	30	2.6	7.0
	5.0	7.0	0	30	3.6	17.0
	6.0	5.0	0	30	–	17.3
	8.0	5.0	0	60	4.9	21.6

Примечание: ОЧБ – общая численность бактерий

## Продукционно-деструкционные процессы в лесных ламбах Карелии

Озеро	Тип трофии	Глубина, м	ФВ	БФ	Д	ТА
			мкгС/(л·сут)			
Крюкламба	дистрофное	0.2	59.0	0	160	2.7
		1.5	2.6	0	290	1.2
		2.0	4.4	0	180	1.2
		3.0	1.7	0	0	2.0
		8.0	0	0	0	5.0
Вороновская–1	олиготрофное	0.2	65.1	0	90	1.2
		3.0	70.0	0	60	0.7
		5.0	15.5	0	40	0.4
		6.0	0	0	–	0.2
		7.0	0	0	–	0.4
		13.0	0.6	0	13	0.5
Лесная ламба	мезотрофное	0.2	15.0	0	45	3.5
		2.0	10.1	0	100	4.7
		2.5	–	0	–	7.0
		3.0	8.1	0	–	5.1
		4.0	20.0	0	–	8.5
Вороновская–2	евтрофное	0.2	67.0	0	180	3.0
		2.0	38.0	0	100	1.1
		3.5	7.2	0	100	3.5
		4.5	7.4	0	270	5.4
Корбламба	евтрофное	0.2	58.6	0	430	2.8
		3.0	31.0	44	550	–
		3.5	95.0	128	120	7.0
		4.5	0	33	0	5.0
Куалика	евтрофное	0.2	213.0	0	130	2.3
		3.5	11.0	0	130	–
		4.0	2.0	2.0	300	10.0
		5.0	2.0	0	0	11.0
Карасево	евтрофное	0.2	287.0	0	870	7.4
		3.0	29.5	34	570	28.5
		3.5	54.0	71	0	71.0

Примечание: Ф – фотосинтез водорослей; БФ – бактериальный фотосинтез; Д – деструкция; ТА – темновая ассимиляция; "–" – отсутствие данных

В придонных слоях воды и донных отложениях озер мы изучали процесс бактериальной редукции сульфатов, играющий важную роль на терминальных этапах анаэробной деструкции ОВ. Основными факторами, влияющими на численность и активность сульфатредуцирующих бактерий, являются: содержание ОВ, температура, концентрация сульфатов и окислительно-восстановительные условия (Кузнецов и др., 1985; Gibson, 1990). По данным Буторина (1991), в иловых отложениях озер Карелии содержание общего органического углерода колебалось от 7.5 до 10.8 мг/г сырой навески, количество углерода усвояемых фракций варьировало от 1.2 до 3.0 мг/г (табл. 3). Наиболее низкие величины окислительно-восстановительного потенциала (Еh и gH<sub>2</sub>) отмечены в евтрофных озерах, более высокие – в илах олиготрофной (Вороновская–1) и мезотрофной (Габозеро) ламб. В придонном слое воды большинства озер кислород отсутствовал или его концентрация не превышала 1.5 мг/л.

В илах озер содержалось от 8.8 до 15.4 мгS/кг сырого ила сульфатов, и только в Корбламбе их было 42.8 мгS/кг (табл. 4). В олиготрофном озере в воде сероводород не был обнаружен, в евтрофных он содержался в количестве до 15 мгS/л. В илах олиготрофной и мезотрофной ламб концентрация сульфидов изменялось от 0 до 27 мгS/кг, в евтрофных же достигало значительных величин: 100 мгS/кг в Куалике и 175 мгS/кг ила в Корбламбе. По данным Дубининой (1976), в малых ламбах Карелии закисные формы железа содержались в количестве до 4 мг/л и марганца до 1 мг/л. В таких озерах, обогащенных солями закисного железа и обедненных сульфатами, сероводород связывается в нерастворимые сульфиды железа и осаждается (Горленко и др., 1977).

Таблица 3

## Физико-химическая характеристика донных отложений озер

Озера	pH	Eh, мВ	rH <sub>2</sub>	Влажность, %	O <sub>2</sub> у дна, мг/л	<sup>1</sup> C <sub>общ</sub> , мг/г	<sup>1</sup> C <sub>ув</sub> , мг/г	Потери при прокаливании, %
Крюкламба	5.0	+50	11.7	96.7	0	8.4	1.2	68.9
Вороновская-1	5.8	+150	16.8	97.1	0.4	—	—	91.2
Габозеро	6.4	+170	18.7	87.8	1.2	10.1	3.0	21.5
Вороновская-2	5.9	—	—	97.9	1.5	7.7	1.2	91.3
Корбламба	6.6	+15	13.7	96.0	0	9.4	1.8	50.2
Куалика	6.4	-40	11.4	95.6	0	10.8	1.6	61.5
Карасево	5.8	+10	11.9	87.8	0	7.5	1.5	91.3

Примечание: <sup>1</sup> – данные Буторина (1991); «—» – отсутствие данных

Таблица 4

## Процесс бактериальной редукции сульфатов в донных отложениях озер

Озеро	Содержание сульфатов, мгS/кг	Содержание сероводорода		Численность СРБ		Скорость сульфатредукции, мгS/(кг · сут)
		вода, мгS/л	ил, мгS/кг	вода, тыс.кл./мл	ил, тыс.кл./г	
Крюкламба	13.7	7.4	19.0	0.07	12.5	0.020
Вороновская-1	8.8	0	27.2	—	50.0	0.140
Габозеро	15.4	1.9	0	0.01	5.0	0.010
Вороновская-2	14.3	0.7	5.4	0.5	12.5	0.241
Корбламба	12.6	14.9	175.4	0.1	50.0	0.054
Куалика	42.8	3.3	99.3	4.0	650.0	0.072
Карасево	9.3	4.5	17.7	3.0	150.0	0.505

Примечание: СРБ – сульфатредуцирующих бактерий

Численность сульфатредуцирующих бактерий в придонных слоях воды (3–4 тыс. кл./мл) и донных отложениях (150–650 тыс. кл./г ила) была самой высокой в евтрофных ламбах Куалика и Карасево. Наибольшие скорости процесса сульфатредукции также зарегистрированы в евтрофных ламбах – до 0.5 мгS/(кг · сут) (оз. Карасево).

На формирование микробных сообществ в лесных ламбах влияют несколько факторов: температура, кислород, свет, железо и марганец. Изменение температуры по глубине обуславливает создание аэрированного эпилимниона, слоя температурного скачка и анаэробной зоны гипolimниона. Характеризуя микрофлору на основании изучения только морфологических признаков под электронным и световым микроскопами, мы наблюдали некоторые особенности распределения микроорганизмов в отдельных экологических зонах. В эпилимнионе олиготрофной и мезотрофной ламб, где протекал фотосинтез фитопланктона, основная часть бактерий представлена кокковидными формами с размерами 0.1–0.3 мкм и мелкими палочками 0.2–0.5 мкм. В Вороновской ламбе с низкой минерализацией и цветностью и высокой прозрачностью воды (7 м) находили нитчатые стебельковые формы. Доминировали более крупные по размеру клетки 1.7–2.2 мкм и каулобактерии. В евтрофных озерах при значительном фотосинтезе у поверхности присутствовали более разнообразные формы, нежели в олиготрофных и мезотрофных. Обнаружены спирали с биполярными выростами, микоплазмоподобные нити, банальные формы. Наблюдалось массовое развитие почкующихся бактерий р. *Planctomycetes*, которые составляли 4% от ОЧБ (Дубинина, 1976). *Caulobacter* встречался в зоне термоклина ряда озер, где температура была в пределах 10–14<sup>0</sup>С и содержание кислорода до 1 мг/л. Здесь отмечали и наибольшее разнообразие бактериальных форм. Так, в микроаэрофильной зоне Лесной ламбы, где содержалось до 5 мг/л закисного железа, регистрировали в значительных количествах скользящие ожелезненные нити, крупные сферические формы, большинство из которых относилось к роду *Arthrobacter*. Глубже, в зоне гипolimниона, в условиях проникновения света и наличия сероводорода, развивались фототрофные серобактерии. Здесь также было зафиксировано наличие микоплазменных кокковидных форм рода *Siderococcus*, которые были сосредоточены на клетках других бактерий (Лаптева, 1983). В зоне термоклина и гипolimниона евтрофных ламб наблюдали специфичные бактерии. Так, в Корбламбе находили пластинки палочковидных клеток до 16 мкм, скользящие нитчатые бактерии, зеленые серные бактерии

*Chloroplana*, *Pelochromatium*, клетки с газовыми вакуолями. В придонном слое обитали спирохеты, крупные палочковидные формы. Специфичные бактериальные формы находили в микроаэрофильных и анаэробных зонах евтрофных ламб Карасево и Куалика. К ним относились клетки бактерий, имеющие выросты, нитчатые и простекатные формы, фототрофные бактерии, *Pelodictyon*, *Ancalochloris*, *Chlorochromatium*. В полигуменной Крюкламбе находили, в основном, банальные формы, а в придонных горизонтах споровые и скользящие бактерии.

Численность и распределение гетеротрофных микроорганизмов также тесно связаны с типом трофности озер и их с физико-химической характеристикой. Так, численность сапрофитных и олиготрофных бактерий была невысокой в менее продуктивных водоемах, где первые составили от 0.2–0.8 тыс.кл./мл. Олиготрофных бактерий было учтено от 0.1 до 10.0 тыс. кл./мл с максимумом в зоне эпилимниона. В евтрофных ламбах число сапрофитных микроорганизмов варьировало от 5 тыс.кл./мл до 13 тыс. кл./мл, а олиготрофные бактерии составили от 10 тыс.кл./мл до 100 тыс.кл./мл. Их наибольшие величины постоянно учитывали в придонных горизонтах воды. В полигуменной Крюкламбе число сапрофитных бактерий снижалось с глубиной от 1.0 тыс.кл./мл в эпилимнионе до 0.4 тыс.кл./мл в придонной воде. Олиготрофные бактерии составили 1.0 тыс.кл./мл в поверхности с повышением в зоне термоклина до 10.0 тыс.кл./мл.

Таким образом, выбранные нами сроки анализов (август) дали возможность наблюдать градации температуры, кислорода, железа, марганца и сероводорода в димиктических озерах и изучить структурно-функциональные особенности распределения микроорганизмов в разных экологических зонах. Развитие гетеротрофных бактерий зависело от лабильного ОВ, которое, в основном, продуцировали водоросли, и от температуры, резкое изменение которой, как правило, сопровождалось увеличением их численности. Для исследованных ламб характерен низкий фотосинтез водорослей. В евтрофных озерах фотосинтез осуществляли и фототрофные серобактерии. Их экологическая ниша располагалась чаще всего в верхнем слое гипolimниона и придонном слое при наличии света, сероводорода и при дефиците кислорода или его отсутствии. Детальный анализ фотосинтезирующих бактерий другими авторами (Горленко и др., 1977) показал, что даже в пределах одной экологической ниши развитие определенных их групп зависит от того, какие они имели фотосинтезирующие пигменты. Деструкционные процессы в десятки и сотни раз превышали продукционные в зависимости от трофности озера и экологической зоны развития фитопланктона. Биосинтетическая активность бактерий была характерна для слабо гумифицированных озер. Максимальные ее величины также зависели от расположения экологических зон. Незначительная скорость сульфатредукции объясняется, очевидно, дефицитом лабильного ОВ. Невысокое содержание сероводорода в большинстве озер может быть связано с активным развитием фототрофных бактерий, которые его окисляют. В целом, на формирование микробных сообществ и их функционирование оказывают влияние внешние факторы: свет, температура, содержание кислорода, соединений железа и сероводорода.

#### Литература

- Алекин О. А., Семенов А. Д., Скопинцев Б. А., 1973. Руководство по химическому анализу вод суши. Л.: Гидрометеоиздат. 270 с.
- Буторин А. Н., 1991. Бактерии и бактериальные процессы на границе донные отложения – вода в пресных водоемах: Автореф. дис.... канд. биол. наук. М. . 29 с.
- Горленко В. М., Дубинина Г. А., Кузнецов С. И., 1977. Экология водных микроорганизмов. М.: Наука. 289 с.
- Дубинина Г. А., 1976. Изучение экологии железобактерий пресных водоемов // Изв. АН СССР. сер. Биол. № 4. С. 575–592.
- Кузнецов С. И., Саралов А. И., Назина Т. Н., 1985. Микробиологические процессы круговорота углерода и азота в озерах. М.: Наука. 213 с.
- Лаптева Н. А., 1976. Электронно-микроскопическое изучение микрофлоры Рыбинского водохранилища // Микробиология. Т. 45. С. 547–550.
- Лаптева Н. А., 1983. Электронная микроскопия микроорганизмов из лесных ламб Карелии // Микробиология. Т. 52, № 1. С. 114–118.
- Романенко В. И., Кузнецов С. И., 1974. Экология микроорганизмов пресных водоемов. Л.: Наука. 194 с.
- Романенко В. И., Рыбакова И. В., Соколова Е. А., Лайош Вереш., 1990. Вариант диффузного метода определения свободной углекислоты, карбонатов и сульфидов в воде и донных отложениях в закрытом сосуде // Гидробиол. журн. Т. 26, № 5. С. 64–69.
- Харкевич Н. С., 1960. Материалы по малым лесным озерам (ламбам Карелии) // Труды Карельского филиала АН СССР. вып. 27. С. 70–133.
- Gibson G. R., 1990. Physiology and ecology of the sulfate-reducing bacteria // Journal of Applied Bacteriology. V. 69. P. 769–797.

## STRUCTURAL AND FUNCTIONAL DIVERSITY OF MICROORGANISMS IN SMALL FOREST LAKES OF KARELIA

N.A. Lapteva, E.A. Sokolova

Papanin Institute for Biology of Inland Water, Russian Academy of Sciences,  
Borok, Yaroslavl reg., Russia, e-mail: lap@ibiw.yaroslavl.ru

Structural and functional diversity of microorganisms was studied in small lakes of Karelia subjected to different effect of marsh waters. Uneven distribution of temperature, O<sub>2</sub>, Mn<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup> and hydrogen sulfide created different ecological zones for microorganism development. In the epilimnion of eutrophic small lakes the phytoplankton production amounted to 0.2-0.3 mgC/(l day) and destruction 0.5-0.8 mgC/(l day). Under light conditions on the boundary of H<sub>2</sub>S and O<sub>2</sub> contact the bacterial photosynthesis occurred. Lakes with high color of water were characterized by low photosynthesis and high destruction. Abundance of bacteria and their biosynthetic activity in lakes increased with depth and were minimal in the epilimnion. The highest diversity of bacteria was marked in microaerophilic zone of the thermocline and hypolimnion of eutrophic lakes where phototrophic and iron bacteria, micoplasmic, sliding and prostecobacteria were found. Sulphate reducing bacteria developed in the near bottom layer and silts reaching their maximum in eutrophic small lakes, where the highest rates of sulphate reduction up to 0.5 mgS/(kg day) were recorded.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕПАТОПАНКРЕАСА КРАБА-СТРИГУНА *CHIONOECETES OPILIO* В ПОЛУЧЕНИИ БЕЛКОВЫХ ГИДРОЛИЗАТОВ ИЗ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ТРЕСКИ

И.И. Лыжов<sup>1</sup>, К.С. Рысакова<sup>1</sup>, В.А. Мухин<sup>1</sup>, В.Ю. Новиков<sup>1</sup>, А.Ю. Ширина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии  
им. Н. М. Книповича (ПИНРО), г. Мурманск, Россия

<sup>2</sup>Мурманский государственный технический университет (МГТУ), г. Мурманск  
e-mail: lyzhov@pinro.ru

### Введение

В настоящее время в Баренцевом море наблюдается рост численности и расширение ареала обитания краба-стригуна *Chionoecetes opilio*. Ожидается, что в ближайшие годы произойдет значительное увеличение численности краба, в первую очередь в восточной части Баренцева моря, что позволяет считать вселенца перспективным для промысла. В связи с этим возникает необходимость разработки способов его рационального использования с точки зрения технологии.

Одним из наиболее перспективных направлений утилизации неиспользуемого белка является получение из него белковых гидролизатов, которые могут применяться в качестве питательной основы для микробиологических диагностических сред, кормовых компонентов для рыб, птицы и сельскохозяйственных животных, питательных растворов для послеоперационных больных и т. д. (Мухин, 2001). Кроме этого, белок может использоваться не только в качестве субстрата для ферментализации, но и в качестве источника протеолитических, хитинолитических, липолитических и иных ферментов. Применение гепатопанкреаса краба-стригуна представляется наиболее перспективным именно в этом качестве.

Гидролиз белков может быть осуществлен двумя способами: химическим (под действием кислот и щелочей) или биологическим (под действием протеолитических ферментов) (Технология рыбы..., 2006).

По составу гидролизаты представляют собой смесь аминокислот и низкомолекулярных полипептидов, которые легче усваиваются животными, чем белки кормовой муки. Кроме того, обработанные соответствующим образом белковые гидролизаты используются в медицинской практике, где они могут служить в качестве составляющих частей диет. В качестве препаратов для энтерального питания подходят нативные белковые продукты (плазма, альбумин), а также белковые гидролизаты (гидролизат казеина ЦОЛИПК, гидролизат Л-103 и аминокептид). Их применяют, главным образом, для восстановления послеоперационных больных.

Гидролиз белков под действием кислоты называется кислотным гидролизом, а полученный продукт – кислотным гидролизатом. Кислотный гидролиз является достаточно технологичным и не содержит опасности бактериального загрязнения окружающей среды. Однако этот способ имеет недостаток – в ходе гидролиза происходит частичное разрушение ряда аминокислот (триптофан, цистин, метионин и др.).

При щелочном способе получения белковых гидролизатов наблюдается рацемизация аминокислот (часть  $\alpha$ -аминокислот превращается в D-аминокислоты) и почти полное разрушение цистеина, цистина и аргинина. Поэтому этот способ практического применения не нашел.

Способ расщепления белка под действием протеолитических ферментов называется ферментативным гидролизом. В этом случае для расщепления белков к субстрату добавляют измельченные пищеварительные органы рыб или теплокровных животных, содержащие протеолитические ферменты, или чистые ферментные препараты.

Процесс ферментативного гидролиза протекает при невысокой температуре (не выше 50 °C), что способствует сохранению в готовом продукте (гидролизате) биологически активных веществ и в отличие от гидролизата, полученного химическим способом, в нем присутствуют те же аминокислоты и в том же соотношении, что и исходное сырье. Кроме того, ферментативный гидролиз разрушает связь белков с липидами, что позволяет легко отделить липиды от исходного сырья и делает гидролизат стойким при хранении.

Целью наших исследований являлось определение возможности использования гепатопанкреаса краба-стригуна в качестве альтернативного источника для получения ферментного препарата, а также исследование фракционного состава белковых гидролизатов. Данное направление является весьма актуальным в связи с возможностью получения гидролизатов с заданными свойствами и рациональной переработкой отходов рыбного промысла.

### Материалы и методы

Получение белковых гидролизатов осуществляли путем гидролиза фарша, полученного из остатков филетировочного производства. Гидролиз проводили ферментными препаратами (ФП), полученными по технологии получения ацетонового порошка (Сахаров, 1988). Данный метод заключается в обезжиривании и промывке белков гепатопанкреаса камчатского краба и краба-стригуна органическими растворителями – ацетоном и бутанолом. Полученный препарат затем сушится под вакуумом и представляет собой сухой порошок, который может долгое время храниться. Для получения ферментных препаратов использовали гепатопанкреасы камчатского краба и краба-стригуна.

Образцы ткани (0,75 г) гомогенизировали в 5 мл дистиллированной воды, центрифугировали (75600 g) и фильтровали через нейлоновые фильтры (акродиски) с размером пор 0,45 мкм.

Гидролиз проводили в водяном термостате при температуре 50 °C, затем надсадочную жидкость отделяли центрифугированием при 75600 g и фильтровали через акродиски с размером пор 0,45 мкм.

Затем 100 мкл фильтрата смешивали со 100 мкл буфера для проб и выдерживали на водяной бане при 95 °C в течение 3 мин. Полученные пробы наносили на гелевую пластинку с концентрацией акриламида 15 % (Остерман, 1981).

Электорофорез осуществлялся при следующих условиях: предэлектрофорез – последовательное повышение напряжения от 100 до 500 V, мощность 15W, сила тока 25 мА; собственно электрофорез – 600 V, 30 W, 50 мА,  $t$  15°C. В качестве маркеров использовали стандартные белки фирмы Fermentas (Канада) с известной молекулярной массой. Пластины окрашивали по Кумасси (Westermeyer, 1993).

Полученные электрофореграммы обрабатывали на двухволновом сканере Shimadzu CS-9000 (длина волны 575 нм) с целью точного определения локализации белковых фракций и интенсивности пятен (бэндов).

Протеолитическую активность оценивали методом Ансона по гидролизу 1%-ного раствора казеината натрия (Алексеев, 1968).

### Результаты и обсуждение

В ходе исследований проведен гидролиз остатков филетировочного производства ФП, полученными из гепатопанкреасов камчатского краба и краба-стригуна. Установлен фракционный состав гидролизата трески.

Из данных, представленных на рисунке 1 а, б, видно, что в процессе электрофореза произошло разделение компонентов смеси белковых веществ, содержащихся в образцах, по молекулярно-массовым (ММ) фракциям. В гидролизате, полученном при использовании ФП из гепатопанкреаса камчатского краба обнаружены 3 фракции с ММ: 1 – 14,6 кД; 2 – 24 кД 3 – 37,1 кД. После проведения гидролиза ФП из гепатопанкреаса краба-стригуна, полученный образец разделился на 4 фракции с ММ: 1 – 19,8 кД, 2 – 13,8 кД, 3 – 9,7 кД и 4 – 9,3 кД. Денситометрическим способом определено относительное содержание фракций в пробе. В первом случае в гидролизате преобладает фракция 3 (77,7 %), во втором – фракции 2 (39,8 %) и 4 (39,1 %).



В состав тресковых гидролизатов входят белковые фракции, ММ которых меньше 37 кД (а), и меньше 19 кД (б), тогда как негидролизованное сырье представляет собой смесь высокомолекулярных белковых фракций, ММ которых лежит в интервале от 16–72 кД и выше (в).

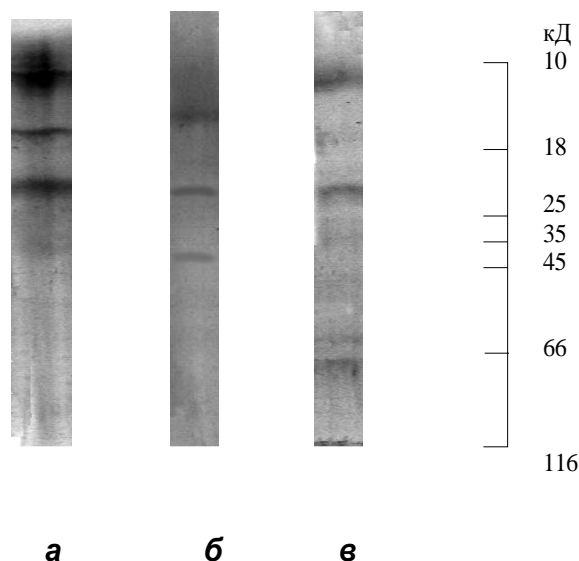


Рис. 1. Электрофореграмма исследуемых веществ:

а – гидролизат трески ферментным препаратом из гепатопанкреаса краба-стригуна; б- гидролизат трески ферментным препаратом из гепатопанкреаса камчатского краба; в- треска фарш

При сравнении значений протеолитической активности ферментных препаратов из гепатопанкреаса камчатского краба и краба-стригуна, не обнаружено принципиальных различий в их активности. Так, протеолитическая активность ФП камчатского краба соответствует 94,86 мкмоль Туг/г, а краба стригуна – 94,06 мкмоль Туг/г.

Однако существенным минусом использования для этой цели краба-стригуна является его малый размер, в силу чего, масса его гепатопанкреаса значительно уступает таковой камчатского краба.

### Выводы

В лабораторных условиях получен образец гидролизата из отходов переработки трески с применением ФП из гепатопанкреаса камчатского краба и краба-стригуна.

Методом электрофореза определен молекулярно-массовый состав гидролизатов, полученных с применением ферментов из гепатопанкреасов крабов. Установлены ММ фракций, полученных с применением ФП из гепатопанкреаса краба-стригуна, они составляют 9,3 – 19,8 кД. Наличие низкомолекулярных фракций может свидетельствовать об эффективности применения данного ФП для гидролиза белков, содержащихся в сырье.

Установлено процентное соотношение преобладающих фракций в гидролизатах. Их молекулярная масса лежит в пределах 9,3 – 37,1 кД.

Обнаружено, что протеолитическая активность ФП из обоих видов крабов практически одинакова.

Таким образом, возможно использование краба-стригуна как альтернативы камчатского краба при получении ФП из гепатопанкреаса.

### Литература

- Алексеев, Л. П. Определение активности протеиназ по расщеплению белковых субстратов // Современные методы в биохимии. Т. 2. – М.: Медицина, 1968. – 112 с.
- Мухин, В. А. Ферментативные белковые гидролизаты тканей морских гидробионтов : получение, свойства и практическое использование / В. А. Мухин, В. Ю. Новиков. – Мурманск : Изд-во ПИНРО, 2001. – 97 с.
- Остерман Л. А. Методы исследования белков и нуклеиновых кислот. Электрофорез и ультрацентрифугирование. М., 1981.
- Сахаров, И. Ю. Очистка и характеристика коллагенолитической протеазы из гепатопанкреаса *Paralithodes camtschatica* / И. Ю. Сахаров, Ф. Е. Литвин, А. А. Артюков, Н. Н. Кофанова // Биохимия, 1988. – Т. 53, № 11. – С. 1844–1849.

Состояние биологических сырьевых ресурсов Баренцева моря и Северной Атлантики в 2009 г. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2009. – 111 с.

Технология рыбы и рыбных продуктов: учебник для ВУЗов / В. В. Баранов, И. Э. Бражная, В. А. Гроховский и др.; Под ред. А. М. Ершова. – СПб.: ГИОРД, 2006. – 944 с.

Westmermeier R. Electrophoresis in Practice. New York, 1993.

## **APPLYING OF SNOW CRAB'S HEPATOPANCREAS FOR OBTAINING OF PROTEIN HYDROLYSATES FROM COD FILLETING WASTES**

**I.I. Lyzhov<sup>1</sup>, K.S. Rysakova<sup>1</sup>, V.A. Mukhin<sup>1</sup>, V.Yu. Novikov<sup>1</sup>, A.Yu. Shironina<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Murmansk, Polar Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography (PINRO)

<sup>2</sup> Murmansk State Technical University (MSTU), Russia

e-mail: lyzhov@pinro.ru

Snow crab (*Chionoecetes opilio*) is a perspective object for further exploration and it may find a use in food and medical industries. The most perspective direction of processing of unused proteins is obtaining of protein hydrolysates. Hydrolysates may be used in microbiological substrates, fodder, nutritious solutions for postoperative patients.

Receiving of hydrolysate was realized by fermentolysis with an enzymatic medication from hepatopancreas of snow crab. Medication was received by application of «acetone powder» technology. As a substrate it was used cod filleting wastes. After that, obtained hydrolysate was investigated by gel filtration and electrophoresis and thus molecular masses of protein fractions were determined. Besides, the proteolytic activity was researched and compared with activity of red king crab.

Following conclusions were received: in first, proteolytic activity of enzymatic medication of snow crab is virtually the same as activity king crab's one, and in second, the enzymatic medical of snow crab can be used as a medication for hydrolysates' preparation.

## **СОСТАВ И СТРУКТУРА КОМПЛЕКСА БЕСПОЗВОНОЧНЫХ-НЕКРОБИОНТОВ В ВОДНОЙ СРЕДЕ**

**С. Н. Лябзина**

Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск, Россия

e-mail: slyabzina@petrsu.ru

Организмы, участвующие в разложении органического вещества животного происхождения составляют особую группу – некрофагов. Но в отличие от наземной среды, в воде нет видов облигатно связанных с трупами. В абиссальных зонах морей и океанов трупы утилизируются за счет плотоядных организмов, грунтоедов и бентофагов (Соколова, 1986; Klades et al., 2001). В пресных водоемах большинство беспозвоночных животных всеядны, питаются растительным детритом, экскрементами, микроорганизмами или доступными мертвыми тканями животных (Бигон и др., 1987). В задачи работы входило выявление видового состава беспозвоночных некробионтов в различных по трофности водоемах, структуры комплекса и изучение сукцессии населения водных некробионтов в процессе разложения.

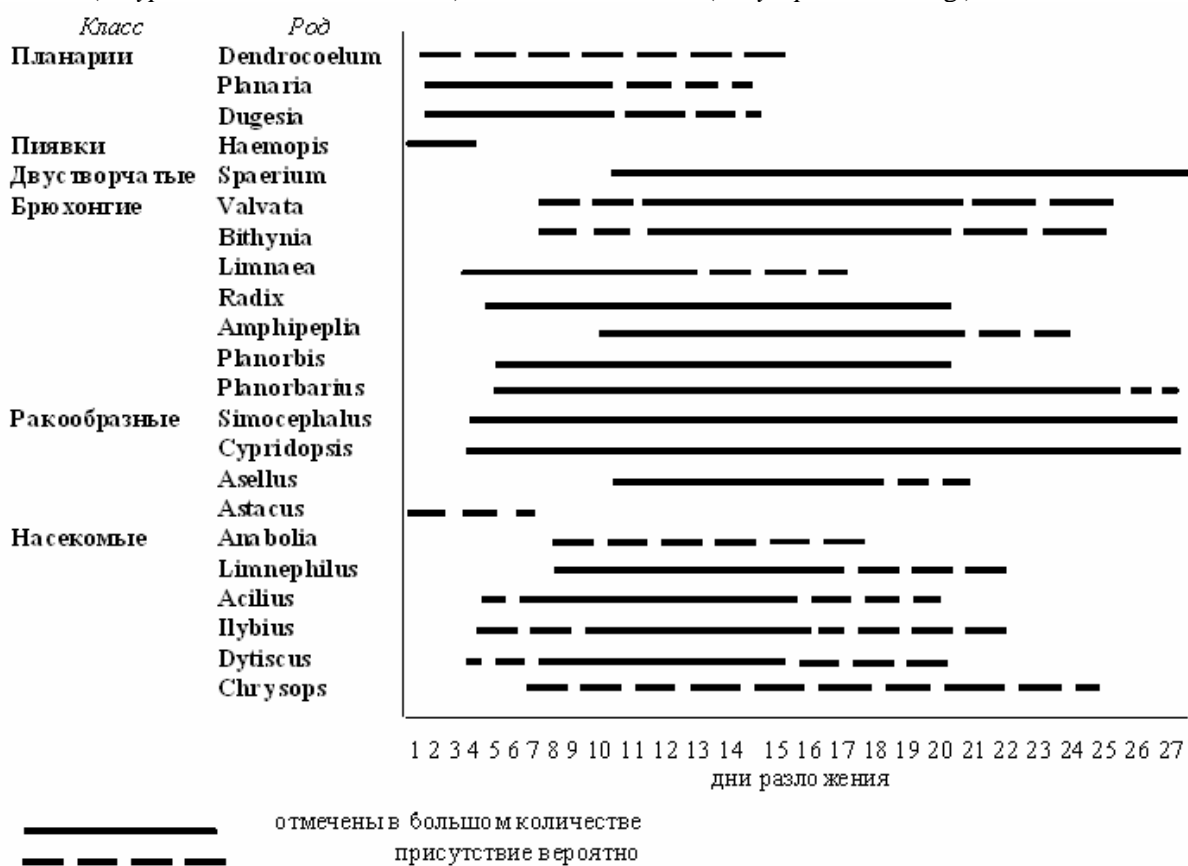
Исследования проводились в период 2000–2009 гг в трёх типах водоемов: мезотрофном (оз. Кончезеро), олиготрофном (оз. Пертозеро, оз. Гобозеро) и дистрофном (ламбы). Фауну некробионтов исследовали в прибрежной литорали в зоне надводных растений. В работе применяли оригинальную методику. В кюветы (или садки с крупными ячейками) помещали трупные приманки и погружали их на глубину 15–20 см. Для уменьшения взаимного влияния приманки располагали на расстоянии более 4 м друг от друга. В работе использовали трупы беспозвоночных (дождевые черви, моллюски) и позвоночных животных (рыбы, амфибии, птицы, мыши) массой от 5 г до 1.5 кг. Некробионтов собирали с трупа и в непосредственной близости к нему. Также в лаборатории вели прямое наблюдение за питанием некоторых отловленных животных на приманке. Наблюдения вели до полного разложения.

Видовой состав беспозвоночных-некробионтов в водных экосистемах включает 38 видов, относящихся к 16 семействам, 12 отрядам, 6 классам, 4 типам. По числу видов самым многочисленными являются классы Брюхоногие моллюски (Gastropoda) – 12 видов и Насекомые (Insecta-Ectognatha) – 14 видов (таблица).

### Количество видов беспозвоночных, отмеченных на трупах

Классы	Количество видов
<i>Turbellaria</i>	4
<i>Hirudinea</i>	1
<i>Bivalvia</i>	1
<i>Gastropoda</i>	12
<i>Crustacea</i>	6
<i>Insecta-Ectognatha</i>	14
Bcero	38

Из планарий на трупе чаще попадаются бурая (*Planaria torva* Müll.), черная (*Dugesia lugubris* Sch.) и многоглазка (*Polycelis nigra* Müll.), реже молочно-белая (*Dendrocoelum lacteum* Müll.). В массе встречаются большая ложноконская пиявка (*Harmopis sanguisuga* L.), двустворчатые моллюски – шаровки (*Sphaerium corneum* L.), прудовики обыкновенный (*Limnaea stagnalis* L.), болотный (*L. palustris* Müll.) и катушки (*Planorbis corneus* L., *Anisus contortus* L., *A. spirorbis* L., *A. vortex* L.). Из ракообразных обильны мелкие формы *Simocephalus* sp., *Cypridopsis* sp., из насекомых – короткоусые двукрылые хирономиды (*Polypedilum convictum* Walker) и личинки слепней (*Chrysops relictus* Mg.).



Распределение некробионтов на трупных приманках (m35g) в летний период

Процесс разложения в водной среде протекает при участии не только животных питающихся непосредственно трупными тканям, но организмов, которых привлекает мелкий образующийся детрит и обрастающие труп грибы и водоросли. Среди отмеченных некробионтов, по способу и источнику питания можно выделить три группы. 1. размельчители, 2. соскребатели, 3. фильтраторы (Лябзина, 2005). Группа размельчителей включает организмы, способные механически разрушать ткани трупа за счет хорошо развитого ротового аппарата (пиявки, жуки, прудовики), либо другого органа, выполняющего функцию рта, например глотки у планарий. Большая ложноконская пиявка, раки (*Astacus leptodactylus* E.), жук полоскун (*Acilius caniculatus* Nic.), плавунцы-тинники (*Ilybius ater* Deg., *I. subaeneus* Er.), плавунец широкий (*Dytiscus marginalis* L.) и прудовики способны отрывать

небольшие кусочки от твердой пищи. Повреждая ткани и проделывая многочисленные отверстия в трупe, они тем самым ускоряют процессы гниения.

Обрастаемые грибами и водорослями трупы и сильно разложившиеся ткани привлекают соскребателей. В группу входят организмы, у которых ротовой аппарат приспособлен к поеданию мягкой разлагающейся ткани и соскабливанию налёта. Среди отмеченных некробионтов прибрежной зоны в эту группу включены катушки, водяной ослик (*Asellus aquaticus* L.) и личинки насекомых – ручейники (*Anabolia laevis* Zett., *Phacopteryx brevipennis* Curt.), слепни.

Фильтраторы (шаровки, затворки, дафнии, личинки хирономид) отцеживают мелкую взвесь и численность их особенно велика при длительном гниении трупa. Основу питания составляет зоогенный детрит в сильно разложившемся состоянии (Митропольский, 1966; Цихон-Луканина, 1987; Монаков, 1998).

Разложение в воде, как и в наземных экосистемах, проходит с участием последовательного заселения некробионтами разлагающейся органики (Payne, King, 1972). Первыми на приманках появляются большая ложноконская пиявка, жуки плавунцы, раки (рисунок). Они сильно разрушают покровы и внутренние ткани и являются основными деструкторами мягких тканей позвоночных животных. Пиявки встречаются только на свежих трупах, а гниющие ткани их не привлекают. В период активного разложения (14 день) в изобилии встречается жесткокрылый полоскун, тинники, личинки ручейников, двукрылых, ветвистоусые и ракушковые ракообразные. На последних стадиях гниения утилизацию остатков трупных тканей осуществляют фильтраторы.

В разложении мягких тканей крупных животных часто принимают участие и наземные некрофильные двукрылые. Личинки мух *Protophormia terraenovae* R.-D. (Calliphoridae), *Parasarcophaga caerulescens* Zett. (Sarcophagidae) способны развиваться в тканях плавающего трупa. Однако численность их невысокая, а для окукливания личинки переползают в плавты или другие предметы.

Разложение мелких трупов беспозвоночных животных (червей, моллюсков и др.) в воде осуществляется за счет большой ложноконской пиявки. В летний период (при  $t$  воды  $20^{\circ}\text{C}$ ) пиявки обнаруживают трупы и поедают их в течение часа. Среди всех приманок более привлекательны для некробионтов являются трупы рыб, здесь численность всех некробионтов значительно выше, чем на амфибиях, птицах и мышах. Вероятно, это связано, с тем, что рыбы являются обычным кормовым ресурсом, по сравнению с трупами наземных животных. Мягкие ткани трупов рыб утилизируются в течение двух недель, наземных животных – около месяца. Наличие перьев и волос препятствует разрушению внутренних тканей деструкторами и процесс разложения замедляется, при этом образуется много гниющей взвеси, которая привлекает фильтраторов и они собираются в большом количестве около и под трупом.

### Литература

- Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К., 1989. Экология. Особи, популяции и сообщества. М.: Мир. в 2х т.  
Лябзина С.Н., 2005. Разложение трупов животных в пресных водоемах // Проблемы экологич. токсикологии: Тр. кафедры зоол. и экол. Новая серия. Вып.1. Петрозаводск: ПетрГУ. С.45–49.  
Митропольский В.И., 1966. О механизме фильтрации и питания сфериид (Mollusca, Lamellibranchia) // Планктон и бентос внутр. водоемов ТР. ИБВВ. Вып. 12/15. С. 129–133.  
Монаков А. В., 1998. Питание пресноводных беспозвоночных. М.. 320 с.  
Соколова М. И., 1986. Питание и трофическая структура глубоководного макрозообентоса. М.: Наука. 208 с.  
Цихон-Луканина Е.А., 1987. Трофология водных моллюсков. М.: Наука. 176 с.  
Klages M., Voper K., Bluhm H., Brey T., Soltwedel T., Arntz W. F., 2001. Deep sea food falls first observation of a natural event in the Arctic Ocean // Polar Biol. Vol. 24. P. 292–295.  
Payne J., King E., 1972. Insect succession and decomposition of pig carcasses in water // J.Georgia Entomol Soc. Vol.7, N3. P.153–162.

## STRUCTURE OF NECROBIONT COMPLEX IN WATER

S. Lyabzina

Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia  
e-mail:slyabzina@petrsu.ru

The work is devoted to questions connected to decomposition of corpses of animals in water. The structure of necrobiont in water includes 38 species. Most numerous of species are the classes Gastropoda – 12 species and Insects – 14 species. The necrobiont species divide on three groups: shredders, grazer-

scrapers and filterers. Among all baits more attractive are the corpses of fishes, than bird and mammali. Some Calliphoridae and Sarcophagidae flies can develop on large corpses. In during decomposition is observed succession of species. In summer the baits (weight 35g) are decomposed during one month.

## АРКТИЧЕСКОЕ КОЛЕБАНИЕ И ИЗМЕНЕНИЯ В ЭКОСИСТЕМЕ СЕВЕРНОГО ОЗЕРА

А.А. Максимов, Н.А. Березина, С.М. Голубков, Л.П. Умнова

Учреждение Российской академии наук Зоологический институт РАН,  
г. Санкт-Петербург, Россия  
e-mail: alexeymaximov@mail.ru

Арктическое колебание – наряду с более известным Северо-Атлантическим колебанием, которое может рассматриваться как региональное проявление этого феномена в Атлантическом секторе (Hurrell, 2003; Thompson et al., 2003) – считается главным атмосферным процессом, определяющим межгодовую изменчивость погодных и климатических условий в северном полушарии, особенно в полярных и бореальных районах. Индекс Арктического колебания рассчитывается на основе данных по атмосферному давлению над уровнем моря севернее 20° с.ш. Влияние Арктического колебания на погодные условия наиболее сильно выражено в зимнее время. При положительных значениях индекса преобладают сильные западные ветры, несущие теплый и влажный воздух на север Европейского континента. Наоборот, в периоды отрицательных значений наблюдается похолодание и уменьшение количества осадков. Чередование положительных и отрицательных фаз Арктического (Северо-Атлантического) колебания оказывает существенное влияние на водные и наземные экосистемы региона (Смирнов, Смирнов, 1998; Ottersen et al., 2001; Stenseth et al., 2002, 2003 и др.).

В данной работе мы исследовали роль Арктического колебания в формировании межгодовой изменчивости озерных экосистем Северо-запада России на примере озера Кривое (площадь 50 га, максимальная глубина 32 м, средняя – 12 м), расположенного в Северной Карелии (около 66° 21' с.ш. и 33° 38' в.д.) в непосредственной близости от биостанции Зоологического института РАН.

### Материалы и методы

Материалом для работы послужили данные гидробиологических съемок выполненных в период с 2002 по 2007 г. Проанализированы изменения в пелагических (концентрация хлорофилла «а» в эпилимнионе) и донных (биомасса животных макрозообентоса в прибрежной и открытой частях водоема) сообществах озера. Поскольку состав и динамика макрозообентоса открытых районов озера на большей части акватории имели сходный характер, для анализа межгодовой изменчивости использовали данные по одной станции, расположенной на глубине 8 м. При изучении более вариабельных прибрежных сообществ были усреднены данные по пяти станциям (глубины 0,5–1 м). В соответствии с задачами данного исследования использовались средние за год величины, основанные на 3–5 съемках, выполненных преимущественно в период с мая по октябрь.

Концентрация хлорофилла «а» определялась в ацетоновом экстракте спектрофотометрическим методом, рекомендованным ЮНЕСКО (Report., 1964). В прибрежье пробы макрозообентоса отбирали при помощи цилиндрического пробоотборника (рамки) площадью сечения 1/32 м<sup>2</sup> или дночерпателем Мордух-Болтовского (1/200 м<sup>2</sup>), в открытой части озера – дночерпателем Ван-Вина (1/40 м<sup>2</sup>). На станциях брали от 3 до 6 проб. Пробы отмывали через капроновое сито с размером ячеек 250 мкм и фиксировали 4% формалином. Камеральную обработку и анализ материала проводили общепринятыми методами. Значения индекса Арктического колебания получены на сайте Отдела анализа климата Национального центра Атмосферных Исследований (США) (Hurrell, 1995, <http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/indices.html>).

### Результаты

В составе макрозообентоса оз. Кривое за период исследования обнаружено свыше 150 видов, наибольшее видовое разнообразие отмечено среди насекомых и олигохет. Особенно богаты видами прибрежные донные сообщества. На глубинах до 5 м по биомассе доминировали амфиподы

*Gammarus lacustris*, составляя 18–44%, личинки ручейников (14–35%) и олигохеты (12–14%). В отдельные годы существенное значение в общей биомассе имели также двусторчатые моллюски *Sphaerium suecicum* (23–28%) и личинки хирономид (17%). Различия в биомассе бентоса и разных групп между станциями, так и между разными периодами наблюдений были существенны. Биомассы варьировали от 1,8 до 18,2 г/м<sup>2</sup> в разные периоды 2003–2007 годов.

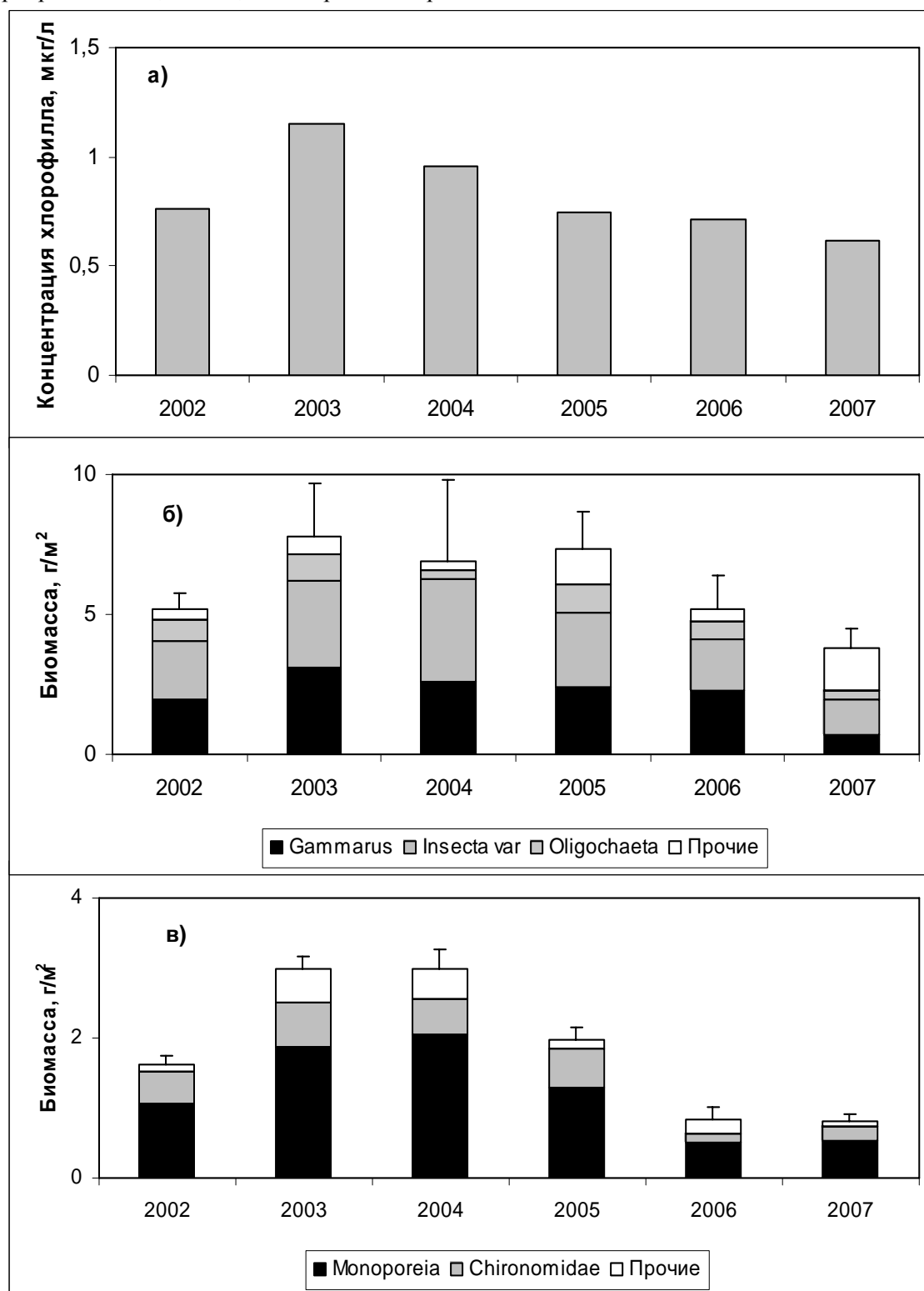


Рис. 1. Межгодовые изменения в планктоне и бентосе оз. Кривое в 2002–2007 гг. (а) Концентрация хлорофилла «а», мкг/л, биомасса (г/м<sup>2</sup>) и состав макрозообентоса соответственно в прибрежье (б) и открытой части (в) озера. Вертикальные линии – стандартная ошибка общей биомассы макрозообентоса

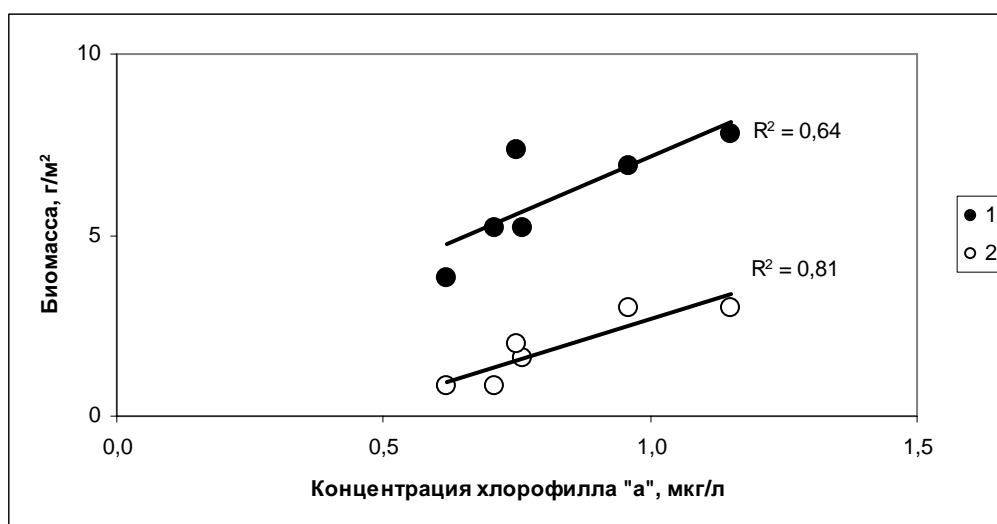


Рис. 2. Зависимость средней за год биомассы макрозообентоса (г/м²) в прибрежье (1) и открытой части (2) оз. Кривое от концентрации хлорофилла «а» (мкг/л)

Для открытых районов озера характерно преобладание в составе бентоса одного вида – гляциально-морского реликтового бокоплава *Monoporeia affinis*. Этот вид доминирует на большей части акватории озера, составляя 60–70% биомассы всего бентоса. Только на локальных участках двух глубоководных впадин с глубинами около 20 м и более *M. affinis* уступает ведущую роль в бентосе личинкам хирономид, представленных там, главным образом, *Sergentia coracina*.

В период исследований отмечены значительные межгодовые изменения всех исследованных показателей. При этом изменения характеристик пелагических, а также донных сообществ в разных участках озера были достаточно близки по амплитуде и имели однонаправленный характер (Рис. 1). Во всех случаях максимальные величины зафиксированы в 2003–2004 гг. Минимальные показатели, которые были примерно в 2–3 раза ниже, наблюдались в последний год наблюдений. Необходимо отметить также почти полную синхронность изменений биомассы доминирующих видов и групп донных животных в прибрежной зоне и открытой части озера (Рис. 1 а, в). Общая биомасса бентоса значимо коррелировала с содержанием в воде хлорофилла (Рис. 2). Отмечена положительная связь между исследованными показателями количественного развития планктона и бентоса и индексом Арктического колебания в предшествующий год (Рис. 3 и 4).

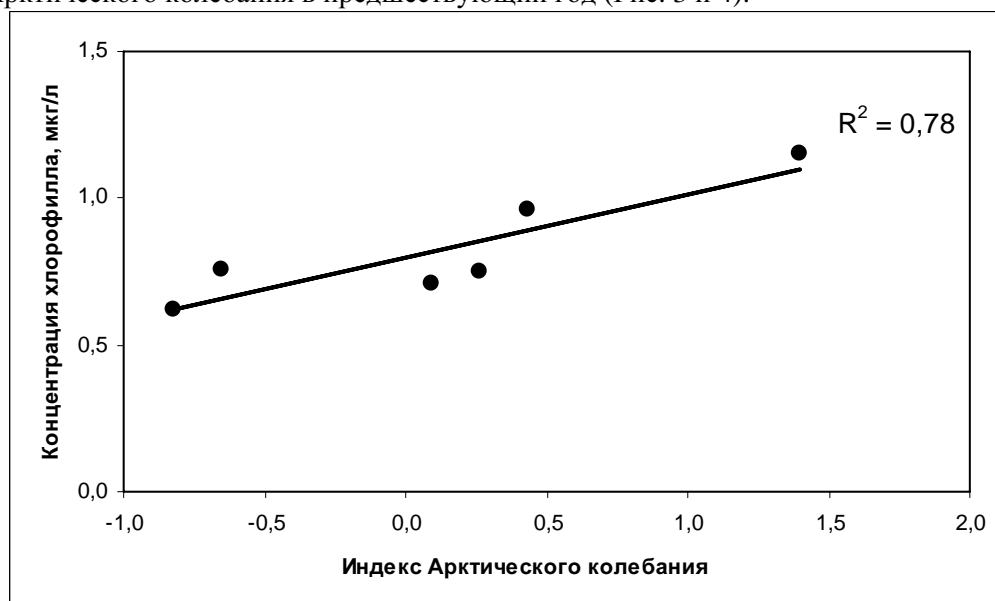


Рис. 3. Зависимость концентрации хлорофилла «а» (мкг/л) в оз. Кривое от индекса Арктического колебания в предшествующий год

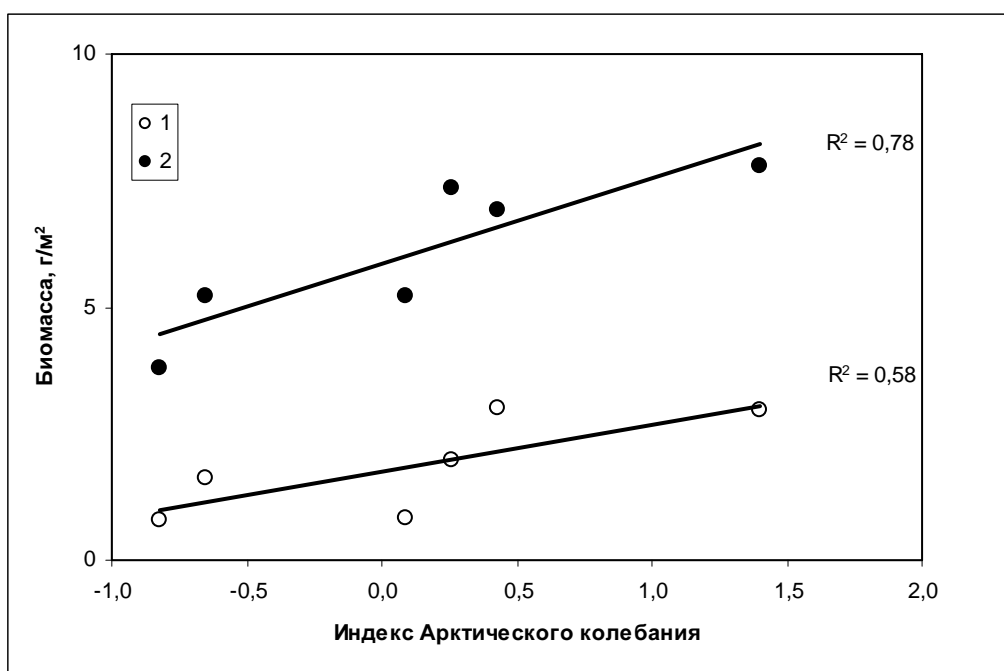


Рис. 4. Зависимость биомассы макрозообентоса (г/м<sup>2</sup>) в прибрежье (1) и открытой части (2) оз. Кривое от индекса Арктического колебания в предшествующий год

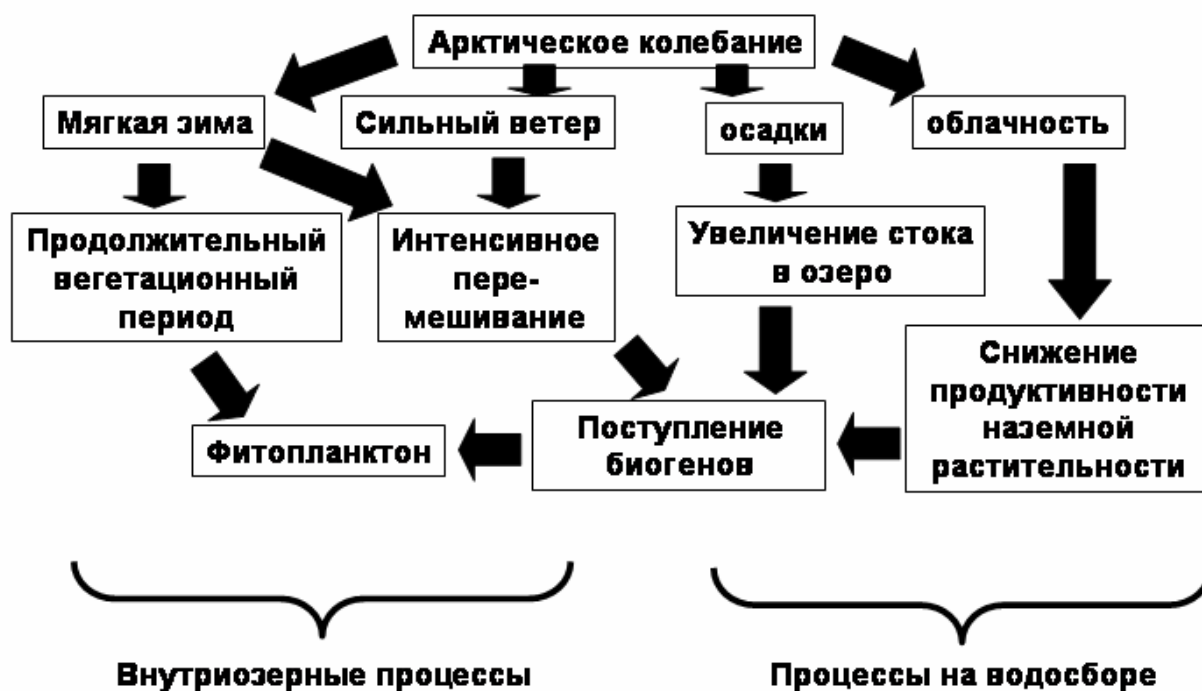


Рис. 5. Возможные механизмы увеличения уровня биологической продуктивности оз. Кривое при положительных значениях индекса Арктического колебания

### Обсуждение результатов

Полученные данные свидетельствуют о тесной взаимосвязи процессов, протекающих в пелагических и донных сообществах озера. Высокая биомасса бентоса наблюдалась в годы повышенной продуктивности планктона, что, несомненно, можно объяснить улучшением условий питания донных животных. Хотя для надежного выявления причин межгодовых изменений в экосистеме озера необходим существенно более продолжительный ряд наблюдений, положительная корреляция между показателями количественного развития озерных сообществ и индексом Арктического колеба-



ния свидетельствует о наличии связи между общим уровнем биологической продуктивности озера и крупномасштабными атмосферными процессами.

Возможные механизмы влияния климатических и погодных условий, характерных для положительных фаз Арктического колебания, на повышение трофического уровня водоема схематически представлены на рис. 5. Климатические факторы могут непосредственно влиять на развитие фитопланктона через увеличение вегетационного периода вследствие сдвига сроков замерзания и вскрытия водоема. Кроме того, более интенсивное и продолжительное перемешивание водной толщи вследствие сильных ветров и сокращения длительности ледостава при положительных индексах Арктического колебания способствует поступлению биогенных элементов в поверхностные слои воды, что должно благотворно сказываться на развитии фитопланктона. Однако перечисленные процессы, происходящие в озере, не способны объяснить отмеченную нами 1-годовую задержку реакции биологических сообществ на климатические колебания. Наиболее вероятное объяснение связано с процессами, происходящими на водосборе. Увеличение количества осадков в годы высоких индексов должно вести к увеличению стока биогенов в озеро. Имеются основания также предполагать, что для положительных фаз Арктического колебания в северных районах характерно, в целом, менее эффективное использование биогенных элементов на водосборе. По данным норвежских исследователей (Aanes et al., 2002) высокие величины индекса Арктического колебания в летнее время сопровождаются холодной, облачной и дождливой погодой, способствующей снижению продуктивности наземной растительности в полярных районах. Это вполне может привести к увеличению поступления биогенов в водоемы с водосбора. Так в водоемах Великобритании содержание нитратов коррелирует с индексом Северо-Атлантического колебания, что связывают с межгодовыми различиями в утилизации азота бактериями и растениями на водосборе в отличающиеся по температурным условиям зимы (Monteith et al., 2000; George et al., 2004).

Таким образом, в годы положительных аномалий индекса Арктического колебания в летне-осенний период вследствие увеличения количества осадков и вероятного снижения потребления биогенных элементов наземной растительностью биогенный сток в оз. Кривое, по-видимому, увеличивается, обеспечивая благоприятные возможности для развития фитопланктона в следующем году. Повышение продуктивности планктона соответственным образом отражается и на других компонентах озерной экосистемы, в частности зообентосе. Наряду с обогащением озера биогенными элементами увеличение атмосферных осадков и стока в годы положительных индексов Арктического колебания должно сопровождаться более значительным притоком аллохтонных органических веществ, стимулируя развитие сообществ животных, особенно в прибрежной зоне.

По всей видимости, с указанными процессами связаны не только краткосрочные межгодовые, но и более длительные многолетние изменения в экосистеме озера. По данным предыдущих исследований (Биологическая продуктивность..., 1975), в 1968–1969 гг. для оз. Кривое был характерен заметно более низкий уровень трофности: средние за сезон концентрации хлорофилла были примерно в 2–3 раза ниже современных (Павельева, Умнова, 2006). Исследования 1960-х гг. пришлись на период очень низких значений индекса. Именно в 1969 г. была зафиксирована минимальная величина индекса (-2,64) за 100-летний период наблюдений.

### Выводы

1) В период исследований (2002–2007 гг.) в оз. Кривое отмечены практически синхронные межгодовые колебания показателей количественного развития пелагических и донных сообществ. В годы повышенной продуктивности планктона наблюдалась и высокая биомасса макрозообентоса.

2) Изменения в планктоне и бентосе озера с лаг-периодом в один год положительно коррелировали с климатическим индексом Арктического колебания, характеризующим крупномасштабные атмосферные процессы в Северном полушарии.

3) Наиболее вероятный механизм влияния климатических колебаний на экосистему озера связан с увеличением поступления биогенных элементов с водосбора в годы положительных аномалий индекса Арктического колебания.

*Авторы благодарят В.А. Петухова, Л.Ф. Литвинчук, С.Н. Панину, А.А. Пржиборо и И. А. Стогова за помощь в сборе материала. Работа выполнена на базе Беломорской биологической станции Зоологического института РАН при финансовой поддержке Минобрнауки России (грант НШ-5577.2006.4), Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 08-04-00101-а) и программы ОБН РАН «Биоресурсы России».*

## Литература

- Биологическая продуктивность северных озер. 1. Озера Кривое и Круглое. 1975/ Под ред. Г.Г. Винберга. Л.: Наука. С. 1–228.
- Павельева Е.Б., Умнова Л.П., 2006. Баланс органических веществ в оз. Кривом (Северная Карелия) // Состояние и проблемы продукционной гидробиологии. М., Товарищество научных изданий КМК. С. 30–35.
- Смирнов А.Н., Смирнов Н.П., 1998. Колебания климата и биота Северной Атлантики. СПб.: Изд. РГТМУ. 150 с.
- Aanes R., Sæther B.-E., Smith F.M., Cooper E. J., Wookey P.A. and Øritsland N. A., 2002. The Arctic Oscillation predicts effects of climate change in two trophic levels in a high-arctic ecosystem // Ecology Letters. V. 5. P. 445–453.
- George D.G., Maberly S.C., Hewitt D.P., 2004. The influence of the North Atlantic Oscillation on the physical, chemical and biological characteristics of four lakes in the English Lake District // Freshwater Biology. V. 49. P. 760–774.
- Hurrell J.W., 1995. Decadal Trends in the North Atlantic Oscillation: Regional Temperatures and Precipitation // Science. V. 269, P. 676–679.
- Hurrell J.W., 2003. Climate Variability: North Atlantic and Arctic Oscillation // Encyclopedia of Atmospheric Sciences. Academic Press. P. 439–445.
- Monteith D.T., Evans C. D., Reynolds B., 2000. Are temporal variations in the nitrate content of UK upland freshwaters linked to the North Atlantic Oscillation? // Hydrol. Process. V. 14. P. 1745–1749.
- Ottersen, G., Planque B., Belgrano A., Post E., Reid P.C., Stenseth N.C., 2001. Ecological effects of the North Atlantic Oscillation // Oecologia. V. 128. P. 1–14.
- Report of SCOR – UNESCO working group 17 on determination of photosynthetic pigments, 1964. Paris: UNESCO. 12 p.
- Stenseth N. C., Mysterud A., Ottersen G., Hurrell J. W., Chan K.-S., Lima M., 2002. Ecological effects of climate fluctuations // Science. V. 297. P. 1292–1296.
- Stenseth N.C., Ottersen G., Hurrell J.W., Mysterud A., Lima M., Chan K.S., Yoccoz N.G., Adlandsvik B. 2003. Studying climate effects on ecology through the use of climate indices: the North Atlantic Oscillation, El Niño Southern Oscillation and beyond // Proc. R. Soc. London B. V. 270. P. 2087–2090.
- Thompson, D.W., Lee, J.S., Baldwin, M., 2003. Atmospheric processes governing the Northern Hemisphere Annular Mode/North Atlantic Oscillation // The North Atlantic Oscillation, Climatic Significance and Environmental Impact. AGU Geophysical Monograph. V. 134. P. 81–112.

## ARCTIC OSCILLATION AND CHANGES IN THE NORTH LAKE ECOSYSTEM

A.A. Maximov, N.A. Berezina, S.M. Golubkov, L.P. Umnova

Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

e-mail: alexeymaximov@mail.ru

The role of the Arctic Oscillation in the development of interannual changes of lake ecosystems in the Northwestern Russia was studied based on hydrobiological data (concentration of chlorophyll «a» and biomass of macrozoobenthos) for 2002–2007 from the Lake Krivoe (area 0,5 km<sup>2</sup>, maximal depth 32 m, mean depth – 12 m) in the North Karelia (about 66° 21' N and 33° 38' E). The pelagic and bottom communities showed practically synchronic variations. The high macrozoobenthos biomass was observed in the years of higher plankton productivity. Changes in plankton and benthos positively correlated with the Arctic Oscillation index with 1-year lag. The most probable mechanism of the link between climate oscillations and changes in the lake ecosystem connected with increase of nutrients inflow from watershed in the years of the positive Arctic Oscillation.

## ЕВРОПЕЙСКАЯ ЖЕМЧУЖНИЦА (*MARGARITIFERA MARGARITIFERA* (L.)) И РЫБЫ – ХОЗЯЕВА ЕЕ ЛИЧИНОК В ВОДНЫХ СИСТЕМАХ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К ВОДОРАЗДЕЛУ БАСЕЙНОВ БАЛТИКИ И ВОЛГИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

А.А. Махров

Учреждение Российской академии наук Институт проблем экологии и эволюции

им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва, Россия

e-mail: makhrov12@mail.ru

## Введение

Европейская жемчужница распространена в реках европейского и американского побережий северной Атлантики, на Британских островах, в Швеции и Финляндии, Германии, включая верховья Дуная (об-

зоры: Зюганов и др., 1993; Geist, 2005). В Польше (Zajac, 2007), Литве (Красная книга Литовской ССР, 1981), Белоруссии (Красная книга Белорусской ССР, 1981) жемчужница ранее встречалась, но, видимо, исчезла. В Эстонии и Латвии обитают отдельные популяции (Punane Raamat, 1982; Rudzīte, 2004).

В России крупные популяции жемчужницы сохранились на Кольском полуострове и в Карелии (обзоры: Зюганов и др., 1993; Махров и др., в печати), небольшие популяции в настоящее время обитают в Архангельской (обзор: Беспалая и др., 2007) и западной части Ленинградской области (Островский, Попов, 2008).

До сих пор не обобщены данные о распространении этого редкого вида в других российских регионах – Псковской, Новгородской, Вологодской, Тверской, Смоленской, Калининградской, восточной части Ленинградской областей. Остается неясным вопрос об исторической границе ареала вида, которая проходит где-то на этой территории.

Не обобщены данные и о современном состоянии популяций жемчужницы и рыб, на которых паразитируют ее личинки – атлантического лосося (*Salmo salar* L.), представленного в регионе проходной и озерно-речной формами, и кумжи (*S. trutta* L.), представленной проходной, озерно-речной и жилой формами (две последние известны также как форели).

В литературе (включая старые немецкие источники) не удалось обнаружить никаких сведений о жемчужнице и промысле жемчуга в водоемах современной Калининградской области. Подобные сведения для других областей рассматриваемого региона обобщаются в настоящей работе. Приводятся также данные о состоянии популяций рыб – хозяев личинок жемчужницы. Для локализации указанных в старых источниках рек использована карта в работе К.А. Неволлина (1853), названия рек приведены современные.

#### **Бассейн Западной Двины**

Есть сведения о добыче жемчуга в реке Торопе (современная Тверская область) в 18 веке (Романченко, 1912). В недавно вышедшей «Красной книге Тверской области» (2002) жемчужница не упоминается. Не исключено нахождение жемчужницы в притоках Западной Двины на территории Смоленской области (Красная книга Смоленской области, 1997). В этом бассейне на территории Белоруссии жемчужница отмечалась в 19 веке (Красная книга Белорусской ССР, 1981), а в Латвии в небольшом количестве сохранилась до сих пор (Rudzīte, 2004).

В Западную Двину еще в 19 столетии заходил атлантический лосось, поднимавшийся до Торопецкого уезда (Эсаулов, 1878). В настоящее время эта река перегорожена плотинами, естественное воспроизводство лосося практически прекратилось, и он воспроизводится искусственно (Куренкова, 1990). Жилая форма кумжи отмечена во второй половине 20 века в притоке Западной Двины, реке Межа (Осинов, Берначе, 1996) и ее притоке Обще (Кириков, 1966).

#### **Бассейн реки Нарва**

В коллекции Зоологического института РАН имеется экземпляр жемчужницы, взятый в 1902 году из «Озерка» у р. Плюсса – притока Нарвы. В бассейне реки Великой жемчужница, видимо, была редка – есть только упоминание о находке жемчуга в притоке Великой, Вревке (Жемчуг ..., 1858). Показательно, что, в отличие от соседних регионов, в 19 веке жемчуг не использовался в бассейне реки Великой при украшении женских костюмов (Нератова, 1998). Судя по всему, ограниченное распространение жемчужницы в бассейне Нарвы объясняется ее зависимостью от рыб-хозяев. В бассейне Плюсса есть форель (Мешков, 1977), а в бассейне реки Великой эта рыба к 20 веку, видимо, полностью исчезла (Чистовский, 1927).

#### **Бассейн Волхова**

Есть данные о промысле жемчуга в реке Вишере, притоке Волхова, относящиеся, видимо, к 18 веку (Есипов, 1879). Не удалось найти на современных картах «в деревне Гусине реку Ясма» и «в Семеновском погосте реку Каменку», располагавшихся в Новгородском уезде и упоминаемых в этом же источнике. Ряд других рек, где добывали жемчуг, находятся в бассейнах притоков озера Ильмень – Мсты, Полы и Ловати.

Жемчуг добывался в бассейне реки Мсты в 18 и 19 веках – в реках Хубе, Ланощенке, Холове, Волме, Отне, Радуле, Белой, Охомле, Льянной, Хоринке, Кренично, Щегринке, Вельгии, Яймле (Примечания ..., 1780; О жемчужной ловле ..., 1830; Штукенберг, 1849; Жемчуг ..., 1858; Есипов,

1879). В 20 веке жемчужница отмечена в Хоринке (Голубев, Голубева, 2009), а недавно найдена в Щегринке (Интернет-сайт Валдайского национального парка, <http://valdaypark.ru/node/42>). В 1936 году в реку Валдайку была перевезена жемчужница из беломорских рек Казанки (приток Солзы) и Варзуги (Сальдау, 1940). Результат этого вселения неизвестен.

В 18 и 19 веках «жемчужные раковины» также отмечены в реках бассейна Полы – Каменке, Стабенке (Чайковский, Варвинский, 1826), Гремячей, Ярынью, Явоне, Луженке, Зеленке (О жемчужной ловле ..., 1830; Есипов, 1879), Поломети (Гмелин, 1806; Есипов, 1879). Реку Зеленку не удалось найти на современной карте. В 20 веке жемчужница сохранилась в реках Яжелбица, Явонь (Гримм, 1931) и Полометь (Голубев, Голубева, 2009).

Промысел жемчуга в 18 веке происходил на реке Сереже и впадающих в нее Столопенке и Вревице, принадлежащим к бассейну Ловати (О жемчужной ловле ..., 1830). Головные уборы, украшенные жемчугом, еще в 19 веке носили жительницы Великолукской земли и Торопецкого уезда (Нератова, 1998), расположенных в бассейне этой реки.

Озерно-речной лосось или кумжа (скорее, последний вид) в конце 19 – начале 20 века входили из Ладожского озера в Волхов, поднимались в Ильмень, откуда заходили в некоторые притоки озера (Варпаховский, 1886; Кучин, 1904; Домрачев, Правдин, 1926). Позже, после постройки плотины на Волхове, эта рыба отлавливалась в бассейне Ильменя очень редко (Ковалев, 1970). Форель в 18–19 веке была отмечена во многих речках бассейна Волхова (Озерецковский, 1817; Эсаулов, 1878; Кириков, 1966), есть сообщения об обитании форели в этом бассейне в 20 (Мосичев, 1911; Шапошников и др., 1959; Ковалев, 1970; Абдулаев, 2000) и 21 (Фрушенкова, 2007) веках.

### **Притоки реки Свирь**

В числе рек этого бассейна, где в 19 веке проводился промысел жемчуга, называли Янегу (Земляницын, 1875–76; Гомилевский, 1879; Шелюков, 1889; Благовещенский, 1902; Материалы ..., 1910), Хутынг (Земляницын, 1875–76; Добыча ..., 1890; Материалы ..., 1910), Сарку и Шоткусу (Благовещенский, 1902; Материалы ..., 1910), Раховку (Кустарные ..., 1905), приток Паши – Капшу (Военно-статистическое ..., 1849). Из перечисленных рек на современной карте не удалось найти Хутынг, а рек с названием Сарка и Сара имеется несколько. Раховки на современных картах тоже нет, но имеется деревня Раховичи на реке Сара. В 20 веке жемчужницы в реках Паша, Оять и Капша не отмечено (Голубев, Голубева, 2009).

До 30-х годов 20 века в Свири воспроизводились популяции озерно-речных лосося и кумжи, позже естественный нерест в основном русле реки прекратился из-за строительства ГЭС. В настоящее время популяция лосося Свири поддерживается за счет искусственного воспроизводства (Христофоров, Мурза, 2008). Естественное воспроизводство лосося сохранилось в нижних притоках Свири – Паше и Ояти (Валетов, 1999), где жемчужницы нет. Жилая форма кумжи до сих пор встречается в некоторых притоках Свири (Веселов и др., 2007).

### **Южные притоки Онежского озера**

Жемчужница до сих пор встречается в нескольких притоках Онега, находящихся на территории Карелии (Махров и др., в печати). Упоминается о промысле жемчуга, проводившемся в 19 веке в реках Рогне (видимо, имелась в виду Ронга – приток Ошты) и Мегре, находящихся на территории современной Вологодской области (Штукенберг, 1849; Военно-статистическое ..., 1853; Семенов, 1870; Земляницын, 1875–76; Бартенев, 1902; Благовещенский, 1902; Материалы ..., 1910). В начале 20 века жемчужница отмечена в реке Андоме (Кустарные промыслы ..., 1905; Кожин, Новиков, 1937).

В Андоме и Мегре до сих пор нерестится озерно-речной лосось (Рыжков, Крупень, 2004; Щуров и др., 2008а) и форель (Щуров и др., 2008б). Возможно, ранее существовала популяция лосося и в реке Оште (Смирнов, 1971).

### **Бассейн Волги**

В коллекции Зоологического института РАН имеется створка жемчужницы, найденная в 2003 году в этом бассейне (точное место сбора не указано). Есть данные о находке жемчужницы в притоке Рыбинского водохранилища, реке Суде (Гоголина, 1998), но этот экземпляр, по сообщению Т.В. Гоголиной, не сохранился, и точно определить его систематическую принадлежность теперь невозможно. В бассейне Волги, хотя и редко, встречается жилая форма кумжи (обзор: Кудерский, 1974).

## Заключение

Таким образом, жемчужница ранее была широко распространена в российской части бассейна Балтики, за исключением современной Калининградской области. Нуждается в исследовании вопрос о распространении этого моллюска в бассейне Волги. Современное состояние большинства популяций жемчужницы неизвестно. Многие популяции рыб – хозяев личинок жемчужницы находятся в угнетенном состоянии, особенно это касается проходных и озерно-речных форм.

Автор признателен за помощь в поисках литературы сотрудникам библиотек ББС МГУ, биостанции «Картеш», ВНИРО, ГосНИОРХ, ЗИН РАН, ИОГен РАН, Карельского НЦ РАН, ОБН, ПИНРО, СевНИРХ, СевПИНРО, Архангельской областной научной библиотеки им. Н.А. Добролюбова, Вологодской областной универсальной научной библиотеки им. И.В. Бабушкина, Национальной библиотеки Карелии, Новгородской и Псковской областных универсальных научных библиотек. Исследование выполнено в рамках программы Президиума РАН «Биоразнообразие: инвентаризация, функции, сохранение» (проекты 2.3.1 и 23-П).

## Литература

- Абдулаев А.А., 2000. Форелевые реки Новгородской области // Исследования на охраняемых природных территориях Северо-Запада России. Матер. регион. научн. конф., посвящ. 10-летию Валдайского нац. парка. 25–26 апреля 2000 года. Великий Новгород. С. 317–322.
- Бартенев И., 1902. О русском жемчуге // Дневник отдела ихтиологии Импер. русск. об-ва акклиматизации животных и растений. Вып. 10. С. 323–335.
- Беспалая Ю.В., Болотов И.Н., Махров А.А., 2007. Промысел жемчуга (XVI–XX вв.) и распространение жемчужницы (*Margaritifera margaritifera* (L.)) в реках Архангельской области // Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря. Матер. X междунар. конф. 18–20 сентября 2007 г., Архангельск, Россия. Архангельск. С. 289–292.
- Благовещенский К., 1902. Жемчуг в Олонецкой губернии // Олонецкий сборник. Вып. 4. С. 178–181.
- Валетов В.А., 1999. Лосось Ладожского озера (биология, воспроизводство). Петрозаводск: Изд-во КГПУ. 91 с.
- Варпаховский Н., 1886. Рыбы озера Ильменя и реки Волхова // Записки Импер. АН. Т. LIII. Книга 2. С. 31–68.
- Веселов А.Е., Шустов Ю.А., Калужин С.М., Аликов Л.В., 2007. Естественное воспроизводство озерной кумжи *Salmo trutta morpha lacustris* L. в бассейне Ладожского и Онежского озер // Исследования по ихтиологии и смежным дисциплинам на внутренних водоемах в начале XXI века (к 80-летию профессора Л.А. Кудерского). СПб.; М. (Сб. научн. тр. ГосНИОРХ. вып. 337). С. 397–404.
- Военно-статистическое обозрение Российской Империи. Т. 1. Ч. 2. Олонецкая губерния. СПб: В типографии Департамента Генерального штаба. 1853. 130 с.
- Военно-статистическое обозрение Российской Империи. Т. 3. Ч. 3. Новгородская губерния. СПб: В типографии Департамента Генерального штаба. 1849. 136 с.
- Гмелин С.Г., 1806. Путешествие по России для исследования трех царств естества. Вторым тиснением. Ч. 1. СПб.: при Импер. АН. 272 с.
- Гоголина Т.В., 1998. Исчезающие животные Кадуевского района Вологодской области. Вологда: Свеча. 12 с.
- Голубев Б., Голубева Е., 2009. Численность и плотность популяций пресноводного моллюска *Margaritifera margaritifera* в реках северо-запада Российской Федерации с 1970 до 1979 // Conservation of freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera* populations in Northern Europe. International workshop. Petrozavodsk, Russia, 28 – 30 April, 2009. P. 7.
- Гомилевский В., 1879. С крайнего Севера Европейской России. Выгский край // Сельское хозяйство и лесоводство. часть CXXXII. Сентябрь. С. 67–87.
- Гримм О.А. 1931., Рыбоводство. М.-Л.: Гос. сельхоз. изд-во. 263 с.
- Добыча жемчуга в Олонецкой губернии // Вестник рыбопромышленности. 1890. № 9–10. С. 301.
- Домрачев П.Ф., Правдин И.Ф., 1926. Рыбы озера Ильменя и реки Волхова и их хозяйственное значение // Матер. по исследованию реки Волхова и его бассейна. Вып. 10. первый полутом. Часть 2. С. 1–294.
- Есипов Г.В., 1879. Жемчуг в Новгородском уезде // Древняя и Новая Россия. Т. 15. октябрь. С. 203.
- Жемчуг в Боровицком уезде, Новгородской губернии, и в некоторых других местах Европейской России // Горный журнал. 1858. № 3. Ч. 1. С. 574–577.
- Земляничин М., 1875–76. Обзор месторождений полезных ископаемых в Олонецкой губернии и их эксплуатация // Олонецкий сборник. Вып. 1. С. 27–49.
- Зюганов В.В., Зотин А.А., Третьяков В.А., 1993. Жемчужницы и их связь с лососевыми рыбами. М.: Ин-т биологии развития РАН. 134 с.

- Кириков С.В., 1966. Промысловые животные, природная среда и человек. М.: Наука. С. 259–260.
- Ковалев П.М., 1970. Рыбы Новгородской области и прилегающих районов. [Л.]: Лениздат. 46 с.
- Кожин Н.И., Новиков П.И., 1937. Рыбные промыслы Карелии. Петрозаводск: Карельское Гос. изд-во. (Рыбное хоз-во Карелии, вып. 4.). 188 с.
- Красная книга Белорусской ССР. Минск: Изд-во «Белорусская Советская энциклопедия». 1981. 288 с.
- Красная книга Литовской ССР. Вильнюс: «Мокслас». 1981. 84 с.
- Красная книга Смоленской области. Смоленск: Смоленский гос. пед. ин-т. 1997. 294 с.
- Красная книга Тверской области. Тверь: Вече Твери, АНТЭК. 2002. 256 с.
- Кудерский Л.А., 1974. О происхождении лососей и форелей (*Salmo trutta* L.) в бассейнах Аральского, Каспийского и Черного морей // Известия ГосНИОРХ. Т. 97. С. 187–216.
- Куренкова Т.П., 1990. Охрана и искусственное воспроизводство балтийского лосося // Рыбное хозяйство. № 10. С. 33–35.
- Кустарные промыслы и ремесленные заработки крестьян Олонецкой губернии. Иллюстрированное издание. Петрозаводск: «Северная скоропечатня». 1905. 333 с.
- Кучин И.В., 1904. Рыбный промысел на Ильмене озере. вып. 1. СПб.: Тип. М.П. Фроловой. С. 22.
- Материалы по статистико-экономическому описанию Олонецкого края. СПб.: Издание Олонецкого Губернского Земства. 1910. 428 с.
- Махров А.А., Иешко Е.П., Щуров И.Л., Широков В.А., Европейская жемчужница (*Margaritifera margaritifera* (L.)): состояние изученности и пути сохранения в реках Карелии // Труды Карельского НЦ РАН. (в печати).
- Мешков М., 1977. Нуждаются в защите // «Псковская правда». № 9. С. 4.
- Мосичев А., 1911. Форель и ее разведение в речках Новгородской губ. СПб.: Изд-во Новгородск. Губ. Земской управы. 31 с.
- Неволин К.А., 1853. О пятинах и погостах Новгородских в XVI веке. С приложением карты. СПб.: В типографии Имп. АН. 415 с.
- Нератова Е.И., 1998. Одежда жителей Псковского края // Историко-этнографические очерки Псковского края. Псков. С. 190–203.
- Озерецковский Н., 1817. Путешествие на озеро Селигер. СПб.: Тип. Имп. АН. 192 с.
- Осинов А.Г., Берначе Л., 1996. «Атлантическая» и «дунайская» филогенетические группы кумжи *Salmo trutta* complex: генетическая дивергенция, эволюция, охрана // Вопросы ихтиологии. Т. 36. Вып. 6. С. 762–786.
- Островский А.Н., Попов И.Ю., 2008. Пресноводная жемчужница (*Margaritana margaritifera*, Unionidea, Margaritiniidae) в реках заказника «Гладышевский» (Ленинградская область) // Зоологический журнал. Т. 87. № 5. С. 624–625.
- Примечания, служащие к познанию как сельского домостроительства, так и состояния мест, между СанктПетербургом и Москвою лежащих // Академические известия на 1780. Ч. 4. февраль. С. 225–243.
- Романченко Н.Ф., 1912. Несколько слов о русском жемчуге. СПб.: Тип. Главн. Упр. Уделов. 32 с.
- Сальдау М.П., 1940. Биология северной жемчужницы в связи с ее промысловым использованием // Тез. докл. на Юбилейной Сессии Ученого Совета к 25-летию ВНИОРХ. 17–20 марта 1940 г. Л.: ВНИОРХ. С. 26–27.
- Семенов П.П., 1870. Географо-статистический словарь. Российская империя. Т. 3. СПб.
- Смирнов Ю.А., 1971. Лосось Онежского озера. Биология, воспроизводство, использование. Л.: Наука. 141 с.
- О жемчужной ловле // Полное собрание законов Российской Империи, с 1649 года. Т. VI. 1720–1722. Б.м. 1830. С. 397–400.
- Рыжков Л.П., Крупень И.М., 2004. Пресноводный лосось Онежского озера. Петрозаводск: ПетрГУ. 152 с.
- Фрушенкова Е.И., 2007. Форель ручьевая в реке Яймля и ее притоках (Крестецкий район) // Природа в наших руках. Матер. общественно-научной регион. конф., Великий Новгород, 20–21 октября 2006 года. Великий Новгород. С. 61–65.
- Христофоров О.Л., Мурза И.Г., 2008. Воспроизводство проходных рыб Ладожского озера Свирским рыбобродным заводом в условиях зарегулированного стока реки Свирь // Рыбное хозяйство. № 6. С. 78–83.
- Чайковский, Варвинский, 1826. Геогностическое обозрение Новгородской и Псковской губерний // Горный журнал. Книга 10. С. 3–27.
- Чистовский С., 1927. Животный мир нашего края // Псковский край. Псков. С. 42–50.
- Шапошников Л., Головин О., Сорокин М., Тараканов А., 1959. Животный мир Калининской области. [Калинин]: Калининское книжн. изд-во. 459 с.
- Шелюков Ф.С., 1889. Каталог предметов Олонецкого естественно-промышленного и историко-этнографического музея. Петрозаводск: В Губернской типографии. 167 с.
- Штукенберг И., 1849. О реках в России, в которых водятся жемчужные раковины // Журнал министерства государственных имуществ. Ч. 31. С. 68–70.
- Щуров И.Л., Широков В.А., Гайда Р.В., 2008а. Атлантический (пресноводный) лосось // Биоресурсы Онежского озера. Петрозаводск. С. 98–115.

Щуров И.Л., Широков В.А., Лукин А.А., Ивантер Д.Э., 2008б. Другие лососевые // Биоресурсы Онежского озера. Петрозаводск. С. 115–121.

Эсаулов В., 1878. Список позвоночных животных, водящихся и встречающихся в Торопецком и Холмском уездах Псковской губернии // Труды СПб. об-ва естествоиспытателей. Т. 9. С. 223–240.

Geist J., 2005. Conservation genetics and ecology of European freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera* L.). Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.) genehmigten Dissertation. München: Technischen Universität München. 121 p.

Punane Raamat. Tallinn: «Valgus». 1982. 234 p.

Rudzīte M., 2004. Distribution of the freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera* (Linnaeus 1758) in Latvia in relation to water quality // Acta Universitatis Latviensis. V. 676. P. 79–85.

Zajac K., 2007. Perspektywy restytucji perłorodki rzecznej w Polsce – action plan // Konferencja Ochrona Przyrody w Polsce. 2 – Restytucje i reintrodukcyjne. 13 listopada 2007. P. 12.

## THE EUROPEAN FRESHWATER PEARL MUSSEL (*MARGARITIFERA MARGARITIFERA*) AND HOST FISH OF ITS LARVAE IN WATER SYSTEMS ALONG THE WATERSHED OF BALTIC AND CASPIAN DRAINAGES

A. A. Makhrov

Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Moscow, Russia  
e-mail: makhrov12@mail.ru

Pearl used to be harvested in the Zapadnaya Dvina basin in the 18th century. In the Narva River basin, the distribution of *M. margaritifera* was limited. Pearls were harvested in many rivers of the Lake Il'men' basin in the 18th and 19th centuries; *M. margaritifera* was also found there in the 20th and 21st centuries. In the 19th and early 20th centuries, pearls were harvested in the Svir River basin and in some rivers on the southern shore of Lake Onega. Reports on recent findings of *M. margaritifera* in the Volga basin (in the late 20th and the 21st centuries) are of special interest; however, they are yet to be confirmed.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ УРАВНЕНИЯ РОСТА БЕРТАЛАНФИ ПРИ ОТСУТСТВИИ РЕГУЛЯРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Е.Б. Мельникова

Институт биологии южных морей НАН Украины, г. Севастополь  
e-mail: vfjuck@mail.ru

Количественным показателем развития рыб является их рост. Поэтому математическая оценка количественных параметров роста в естественных условиях имеет первостепенное значение при изучении динамики рыбных ресурсов и разработке мероприятий по их рациональному использованию.

Для количественной оценки параметров роста рыб чаще всего используют уравнение линейного роста Берталанфи (Bertalanffy L., 1964; Рикер У., 1979):

$$l(t) = L(1 - e^{-K(t-t_0)}), \quad (1)$$

где  $l(t)$  – длина рыбы в момент времени  $t$ ;

$L$  – средняя предельная длины рыбы исследуемой популяции;

$K$  – константа, характеризующая скорость изменения длины;

$t_0$  – константа, указывающая момент времени, в который длины рыбы в принятой модели роста (1) была равна нулю;

$(t - t_0)$  – время, прошедшее от рождения рыбы (возраст рыбы).

Уравнение (1) позволяет для заданного возраста рыбы определить ее длину или прирост длины за фиксированный отрезок времени (год, сезон и т.д.), оно используется для нахождения индивидуального и популяционного роста особей промыслового стада, расчете продукционных характеристик и т.д.

В уравнении (1) содержится три неизвестных коэффициента  $L$ ,  $K$  и  $t_0$ , которые должны быть определены на основе экспериментальных измерений. Существуют разные методы нахождения этих коэффициентов (Hohendorf K.; 1966, Рикер У.Е., 1979; Барыбина А.И., 1978 и др.). Однако не-

достатком всех этих методов является то, что для определения неизвестных коэффициентов длина рыбы должна быть известна через равные интервалы времени. Если интервалы времени, для которых определена длина, не являются постоянными (то есть отсутствуют регулярные измерения), то для этих случаев известные методы не применимы.

Целью данной работы является разработка методики определения коэффициентов уравнения линейного роста Берталанфи на основе экспериментальных измерений длины, проведенных через неравные интервалы времени.

Если продифференцировать уравнение (1) и провести несложные преобразования, то можно получить следующее выражение для скорости роста рыбы:

$$\frac{d}{dt}[l(t)] = KL - Kl(t) \quad (2)$$

где  $\frac{d}{dt}[l(t)]$  – скорость роста рыбы.

Из уравнения (1) видно, что скорость роста зависит от длины рыбы. Анализ показывает, что выражение (2) является уравнением линейной функции в декартовой системе координат, по оси абсцисс которой откладывают длину рыбы  $l(t)$  в некоторый момент времени  $t$ , а по оси ординат ско-

рость роста рыбы  $\frac{d}{dt}[l(t)]$  в этот момент. В момент времени  $t_k$ , когда длина рыбы достигнет предельной длины  $l(t_k) = L$ , скорость ее роста становится равной нулю. И наоборот, в момент времени

$t_0$ , когда длина рыбы равна нулю, скорость ее роста максимальна и равна  $\frac{d}{dt}[l(t)] = KL$ . Это можно использовать для нахождения неизвестных коэффициентов уравнения Берталанфи.

На рис. 1 изображены и отмечены кружками значения скорости роста рыбы в зависимости от длины, найденные на основе измерений длины в некоторые моменты времени  $t$ . В соответствии с выражением (2) значения скорости роста, могут быть аппроксимированы прямой линией, проходящей через эти точки. Аналитическое выражение этой прямой, позволяет найти неизвестные коэффициенты уравнений (2) и (1).

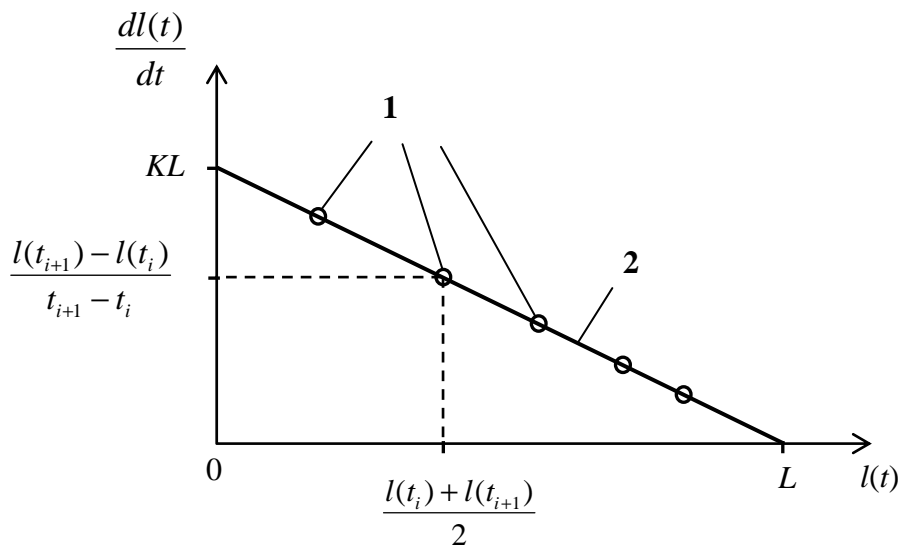


Рис. 1. Зависимость скорости роста рыбы от длины

1 – Значения скорости роста, найденные на основе измерений длины и возраста; 2 – Линейная зависимость в соответствии с уравнением (2)

В соответствии с изложенным выше, определение коэффициентов уравнения роста Берталанфи можно проводить в следующей последовательности.



1). Для некоторых возрастов рыбы  $t_i$  производят измерения ее длины  $l(t_i)$ . Количество измерений должно быть не менее трех.

2). Затем для нескольких последовательных пар значений изменения возраста находят среднюю длину рыбы на  $j$ -ом интервале изменения возраста

$$l_j = \frac{l(t_{i+1}) + l(t_i)}{2},$$

где  $l_j$  – средняя длина рыбы на  $j$ -ом интервале изменения возраста;

$l(t_i)$  и  $l(t_{i+1})$  – длина рыбы соответственно в возрасте  $t_i$  и  $t_{i+1}$ ;

3). На каждом  $j$ -ом интервале изменения возраста рыбы определяют скорость ее роста:

$$\left(\frac{dl}{dt}\right)_j = \frac{l(t_{i+1}) - l(t_i)}{t_{i+1} - t_i}, \quad (3)$$

где  $j$  – интервал возраста, для которого определяется скорость роста;

$\left(\frac{dl}{dt}\right)_j$  – скорость роста на  $j$ -ом интервале изменения возраста;

$l(t_{i+1})$  и  $l(t_i)$  – длина рыбы соответственно в возрасте  $t_{i+1}$  и  $t_i$ .

4). Строят таблицу, в которой приводят экспериментальные данные скорости роста рыбы на  $j$ -ом интервале изменения возраста и соответствующую этому интервалу среднюю длину.

5). Затем методом регрессионного анализа с использованием стандартных компьютерных программ, предназначенных для обработки статистических данных (например, *Excel*, *Statistica* или др.), находят аналитическое выражение уравнения прямой линии ( $y = ax + b$ ), аппроксимирующей экспериментальные точки зависимости скорости роста от длины рыбы. Численные значения коэффициентов  $a$  и  $b$  найденного регрессионного уравнения, позволяют найти значения средней предельной длины рыбы

$$L = -\frac{b}{a},$$

и константу, характеризующей скорость изменения длины

$$K = -a$$

уравнения Берталанфи (1).

6). Нахождение коэффициента  $t_0$  уравнения Берталанфи (1) осуществляется в два этапа.

а). Для каждого из измеренных значений длины рыбы  $l(t_i)$ , соответствующей возрасту  $t_i$  и найденным коэффициентам  $K$  и  $L$  находим значение  $(t_0)_i$  по формуле

$$(t_0)_i = t_i + \frac{1}{K} \ln\left(1 - \frac{l(t_i)}{L}\right), \quad (4)$$

б). Находим коэффициент  $t_0$  как среднее всех значений, рассчитанных по формуле (4).

Таким образом, предлагаемая методика позволяет достаточно просто рассчитать коэффициенты уравнения роста Берталанфи по измеренным значениям длины рыбы и ее возрасту. Достоинством методики является то, что измерения длины не обязательно должны производиться через равные интервалы времени.

### Литература

Барыбина А. И., 1978. Некоторые способы определения параметров уравнений роста Берталанфи // Применение математических способов оценки состояния промысловых объектов мирового океана: Тр. ВНИРО. Т. СХХVIII. С. 67 – 71.

Рикер У. Е., 1979. Методы оценки и интерпретации биологических показателей популяций рыб. М.: Пищ. пром-сть. 408 с.

Bertalanffy L., 1964. Basic concepts in quantitative biology of metabolism // Helgoländer Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen. V. 9. № 1 – 4. P. 5 – 37.

Hohendorf K., 1966. Eine Diskussion der Bertalanffy – Funktionen und ihre Anwendung zur Charakterisierung des Wachstums von Fischen // Kieler Meeresforschungen. V. XXII. № 1. P. 70 – 97.

## DEFINITION OF COEFFICIENTS OF THE BERTALANFFY GROWTH EQUATION WHEN REGULAR MEASUREMENTS ARE LACKING

**E.B. Melnikova**

Institute of biology of the southern seas of NAS of Ukraine, Sevastopol, Ukraine  
e-mail: vfjuck@mail.ru

Transformation of Bertalanffy linear growth equation has been conducted and dependence of fish growth rate on its length has been found. On the base of the expression obtain ell and also experimental measurement of length and age of fish, the method of calculation of coefficients of the Bertalanffy growth equation is has been developed. The amount of measurements must be no less than three. With increase of amount of measurements due to the statistical data processing the error of definition of coefficients of growth equation diminishes. Fish length measurements can be carried out in unequal time intervals and this is an advantage of the methodic developed. It allows to find the parameters of individual and population grows of the food fish shoal when regular measurements are lacking.

## СОСТОЯНИЕ НЕКОТОРЫХ БЕЛОМОРСКИХ ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ ПРОМЫСЛОВЫХ БУРЫХ ВОДОРОСЛЕЙ *FUCUS DISTICHUS* и *F. SERRATUS*

**Т. М. Михайлова**

Учреждение Российской академии наук Ботанический институт  
им. В.Л. Комарова РАН, г. Санкт-Петербург, Россия  
e-mail: mikhaylovat@mail.ru

Среди промысловых бурых водорослей, фукусовые имеют немаловажное значение: они широко используются в медицинской и косметологической практике, применяются в качестве удобрения, корма для скота и других домашних животных. Наиболее хорошо изучена биология массовых фукоидов *Fucus vesiculosus* L. и *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis (Кузнецов, 1960; Коренников, 1975; Возжинская, 1986; Михайлова, Мохова, 2001; Пронина, 2002; Мохова, Михайлова: 2005; Полетаева, Пронина; 2007). Однако кроме них в Белом море произрастает также еще 2 промысловых вида, по которым наблюдается дефицит сведений по распространению, биологии и структуре локальных популяций. Настоящие исследования были направлены на изучение характеристик обилия локальных ценопопуляций фукусовых водорослей *F. distichus* L и *F. serratus* L.

### Материал и методика

Полевые исследовательские работы проводились в июле-августе 2007 г. в Кандалакшском заливе Белого моря и на Соловецких о-вах. Изучались 2 ценопопуляции *F. distichus*: в р-не м. Киндо губы Рыгозерской (Кандалакшский зал.) [N 66°32' E 33°11'] и в районе п. Реболда (северо-восточное побережье о-ва Б. Соловецкий) [N 65°08' E 35°52'] и 1 ценопопуляция *F. serratus*: – в районе м. Батарейный (юго-западное побережье о-ва Б. Соловецкий) [N 65°00' E 35°42']. Пробы отбирались рамками 0,09 и 0,25 м<sup>2</sup> в 3–5-кратной повторности, в сублиторальной зоне водолазным способом, в литоральной – на берегу. Измерялись морфометрические и весовые характеристики отдельных растений, определялись значения биомассы видов, проективное покрытие грунта водорослями, плотность поселения растений, изучалась возрастная и размерная структура ценопопуляций. Методика определения возраста у фукусовых окончательно не разработана. Большинство исследователей склоняется к тому, что на слоевище фукусов за один год в среднем образуется по 2 дихотомических ветвления. В нашей работе возраст определялся условно – по числу дихотомических ветвлений (или дихотомий) (Малавенда, 2008). Кроме собственных данных к анализу были привлечены имеющиеся в литературе сведения по распределению исследуемых видов по беломорским берегам и глубинам.

### Результаты и обсуждение

Вид *F. distichus* обитает, главным образом в среднем и нижнем горизонтах литорали. В Белом море редко встречаются самостоятельные ассоциации вида, здесь он не образует промысловых скоплений. Как правило, это – сопутствующий вид в ассоциациях *F. vesiculosus* и *A. nodosum*. Его распределение по бере-

гам характеризуется пятнистостью: проективное покрытие вида по донной поверхности не превышает 30 %. Изученные нами ценопопуляции *F. distichus*, произрастающие в районе Соловецких о-вов и в Кандалакшском заливе Белого моря, в местах скоплений вида характеризуются сравнительно высокими значениями биомассы, достигающими иногда 6–8 кг/м<sup>2</sup>. В среднем биомасса вида в беломорских прибрежных фитоценозах составляет от 2–3, реже 5 кг/м<sup>2</sup>. Плотность поселения растений в районе п. Реболда (Соловецкие о-ва) составила  $874,1 \pm 194,8$  экз./м<sup>2</sup>, а в популяциях из Кандалакшского залива –  $659,3 \pm 109,3$  экз./м<sup>2</sup>. Установлено, что длительность жизни растений в исследованных районах неодинакова: в ценопопуляциях из Кандалакшского залива самые старые растения *F. distichus* имеют 14 дихотомий, а в районе Соловецкого архипелага – 18 дихотомий. Благодаря этому в Соловецких ценопопуляциях появляется дополнительная возрастная группа растений, имеющих 16–18 дихотомий, которая составляет 6 %. Группы растений остальных возрастов в популяции представлены более или менее равномерно: ювенильные (< 4 дихотомий) и молодые (4–7 дихотомий) растения составляют 24 и 23 % соответственно, преобладают (31 %) взрослые растения длиной 30–40 см, имеющие на своих слоевищах 11–15 дихотомий (рис.). Именно эта возрастная группа формирует биомассу всей ценопопуляции в районе п. Реболда: ее доля составляет 66 %. Максимальная длина растений на Соловках составила 44 см. В кандалакшской ценопопуляции возрастной ряд короче, с заметным преобладанием молодых растений, имеющих 4–7 дихотомий (50 %). В то же время биомасса формируется (51 %) более старыми растениями, имеющими по 8–10 дихотомий. Длина таких растений варьирует от 20 до 30 см; самое крупное растение имело длину 33 см. В результате анализа литературных данных и собственных наблюдений можно сделать предварительные практические рекомендации. В связи с небольшой долей вида в беломорской формации фукусовых, его промысел можно допускать в виде прилова. Кроме того, необходимо учитывать возрастную структуру ценопопуляций: популяции с более длительным циклом развития, в которых основную биомассу приносят старые растения, необходимо эксплуатировать реже, для обеспечения их восстановления.



Слоевище *Fucus distichus*; длина 28 см; вес 14 г; 15 дихотомий. Белое море, о. Б. Соловецкий, п. Реболда 10.08.2007

Вид *F. serratus* на побережье Белого моря образует самостоятельный пояс в формации фукусовых водорослей: верхняя его часть начинается в нижнем горизонте литоральной зоны, а нижняя проходит приблизительно на глубине 1–1,5 м и является границей для всего пояса фукоидов в сублиторали. В литоральной зоне проективное покрытие вида, как правило, составляет 50 %, а в сублиторали вид нередко формирует сплошной покров. Биомассы вида в среднем составляют 3–5 кг/м<sup>2</sup>. В результате исследования занятых видом площадей установлено, что плотность поселения растений

в ценопопуляциях на Белом море (в районе о. Б. Соловецкого) – составила  $329,6 \pm 187,9$  экз./м<sup>2</sup>. Максимальная длина слоевищ составила 52 см, максимальный возраст – 17–18 дихотомий. В возрастной структуре преобладают ювенильные (55–61 %) и молодые растения (22–27 %), при этом биомасса формируется преимущественно самой старой группой растений (16–18 дихотомий) – 56 %. В Белом море вид часто встречается в более спокойных местообитаниях, по сравнению, к примеру, с Баренцевым морем, на участках с III–IV степенями прибойности. Это позволяет местным ценопопуляциям сохранять большое количество старых растений. Учитывая наличие сплошных и 50 %-ных зарослей, можно сформулировать предварительные рекомендации к активному промыслу вида. Если в баренцевоморских популяциях функцию регуляции динамики возрастной структуры выполняет прибой, то в Белом море рациональный промысел этого вида может благоприятно сказаться на смене генераций вида и способствовать регулярному приросту биомассы. В противном случае может наблюдаться сравнительно долговременная цикличность в запасах этого вида, поскольку после отмирания старых растений вида, формирующих максимальные биомассы, естественный прирост новой биомассы будет осуществляться сравнительно медленно – около 5–10 лет.

### Заключение

В результате работы проанализированы индивидуальные (морфометрические и весовые) и популяционные характеристики видов *F. distichus* и *F. serratus*; изучены стратегии их жизни в фитоценозах бентосных водорослей. На основе анализа литературных данных и данных собственных наблюдений по распределению видов в природе, изучению особенностей их биологических, биоценологических свойств, показателей обилия ценопопуляций сформулированы предварительные практические рекомендации для промышленности по получению биомассы этих биоресурсных видов с целью ее коммерческого использования.

В Белом море в связи с небольшой долей вида *F. distichus* в формации фукусовых, его промысел можно допускать только в виде прилова. Состояние беломорских популяций вида *F. serratus* позволяет рекомендовать его к активному промыслу; рациональный промысел может благоприятно сказаться на смене генераций вида и способствовать регулярному приросту его биомассы.

*Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований Отделения биологических наук РАН «Биологические ресурсы России: фундаментальные основы рационального использования».*

*Автор благодарит администрацию и сотрудников ББС МГУ за предоставление возможности собирать и обрабатывать материал в условиях полевой лаборатории (Кандалакшский залив, г. Ругозерская); администрацию и работников Архангельского опытного водорослевого комбината за предоставление возможности собирать и обрабатывать материал на заготовительном участке в р-не п. Реболда (о. Б. Соловецкий). Автор также искренне благодарит Чабана А.В. за помощь при сборе и обработке материала.*

### Литература

- Возжинская В.Б., 1986. Донные макрофиты Белого моря. М.: Наука. 192 с.
- Коренников С.П., 1975. Особенности современного распределения зарослей промысловых водорослей в Двинском, Онежском и Кандалакшском заливах Белого моря // Растительные ресурсы. Л.: Наука. Т. 2, вып. 1. С. 51–52.
- Кузнецов В.В., 1960. Белое море и биологические особенности его флоры и фауны. М.-Л.: Изд-во АН СССР. 322 с.
- Малавенда С.С., 2008. Морфофизиологические особенности бурой водоросли *Fucus distichus* L в экосистемах Баренцева моря: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Мурманск: изд. центр ММБИ КНЦ РАН 25с.
- Михайлова Т.А. Мохова О.Н., 2001. Изучение восстановления сообществ фукусовых водорослей в Белом море // Рыбное хозяйство. Т. 5. С. 40–41.
- Мохова О.Н., Михайлова Т.А., 2005. Восстановление фукусовых и ламинариевых сообществ Белого моря после промыслового воздействия // Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря. Материалы IX международной конференции 11–14 октября 2004 г. Петрозаводск, Изд. «Карелия» С. 234–238.
- Полетаева А.В., Пронина О.А., 2007. Некоторые аспекты структурно-популяционного анализа промысловых фукоидов Белого моря из различных мест обитания // Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря. Материалы X Международной конференции г. Архангельск, 18–20 сентября 2007 г. С. 199–204.
- Пронина О.А. 2002. Проблемы и перспективы использования сырьевой базы водорослей Белого моря // Материалы рыбохозяйственных исследований водоемов Европейского Севера / Ред. В.М. Зеленкова. Архангельск: Изд-во «Правда Севера». С. 428–454.

## ПИТАНИЕ *METRIDIA LONGA* (COPEPODA; CALANOIDA) В БЕЛОМ МОРЕ

К.А. Михальчук<sup>1</sup>, Н.А. Казусь<sup>2</sup>, Д.М. Мартынова<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Институт Океанологии РАН, Атлантическое отделение, г. Калининград

<sup>3</sup>Учреждение Российской академии наук Зоологический институт РАН,  
г. Санкт-Петербург, e-mail: ksenila@mail.ru

### Введение

Большая часть работ, посвященных проблеме питания копепод, содержит результаты экспериментальных исследований, т.к. только специально заданные условия опыта позволяют оценить влияние отдельных факторов на процесс питания подопытных животных. Эксперименты, в которых рачкам предлагают в качестве пищи монокультуру или смесь культур водорослей, либо неспецифические объекты (например, науплии *Artemia salina* или искусственные заменители пищи), не отражают многих закономерностей в условиях *in situ*. Одним из подходов к решению этой проблемы, было использование в качестве пищи естественного сестона. Результаты таких экспериментов позволяют с большей точностью описывать процессы, происходящие в природе.

*Metridia longa* (Lübbock, 1854) – один из ключевых видов зоопланктона в Белом море, встречающийся там круглогодично. Основная популяция этого вида обитает в центральной части моря и глубоководных частях Кандалакшского и Двинского заливов. Метридия активна в течение всего года, и является эврифагом с преимущественно хищным типом питания (Перуева, 1982, 1983). Однако, питание беломорской *Metridia longa* изучено крайне слабо. Есть единичные работы Е. Г. Перуевой (Перуева, 1982, 1984), которые посвящены определению спектра питания по составу пищевого комка только в летний период. Цель данной работы – изучение питания *Metridia longa* в Белом море.

### Материалы и методы

Материалом для исследования послужили эксперименты, проведенные в течение 3-х сезонов 2006–2008 г.г. (сентябрь и октябрь 2006, июль 2007, март 2008). В общей сложности поставлено 12 экспериментов, обработано 153 пробы. Фиксацию и обработку проб проводили по стандартной методике Утермёля (Utermöhl, 1958). Организмы планктона определяли по возможности до вида и относили к определенным размерным группам и трем типам: интактные организмы, пустые оболочки и поврежденные организмы. Избирательность питания определяли по формуле Ивлева (Ивлев, 1955). При ее подсчете учитывали только те группы планктона, концентрация которых составляла >10% от начальной концентрации.

Скорость потребления пищи определяли по формуле Арашкевич (Арашкевич, 1978). Для определения зависимости скорости питания от концентрации пищи был использован регрессионный анализ. Для определения зависимости скорости и избирательности питания от температуры и освещенности использовался однофакторный дисперсионный анализ.

### Результаты и обсуждение

В ходе обработки проб фитопланктона было обнаружено порядка 30 разных таксономических групп, принадлежащих к трем классам: Bacillariophyta, Dinophyta и Chrysophyta). В марте концентрация фитопланктона была крайне низка (менее 5 тыс. кл./л) и была представлена почти полностью диатомовыми (рис. 1). В июле концентрация фитопланктона очень сильно возрастает и достигает почти 140 тыс. кл./л. Затем в начале сентября численность фитопланктона заметно снижается (примерно до 20 тыс. кл./л), доминантами по численности здесь уже являются перидиниевые водоросли. Далее к концу сентября численность фитопланктона снова увеличивается, но незначительно (всего до 30 тыс. кл./л). Это происходит за счет увеличения численности диатомовых и мелких перидиниевых. В октябре численность фитопланктона уменьшается до 14 тыс. кл./л. Концентрация диатомовых снижается и доминантами остаются крупные перидиниевые (рис. 1). Эта динамика начальных концентраций достаточно близко повторяет сезонную динамику фитопланктона в Белом море (Сергеева, 1991; Кокин и др., 1970, 1971; Конопля, 1973).

В результате исследований было выявлено, что основу рациона питания фитопланктоном во все сезоны составляют в основном диатомовые водоросли, что подтверждается литературными данными (Перуева, 1984), за исключением октябрьского эксперимента с рачками пятых копеподитных стадий, где значительную долю занимали динофлагелляты. Потребление в основном направлено на массовые формы.

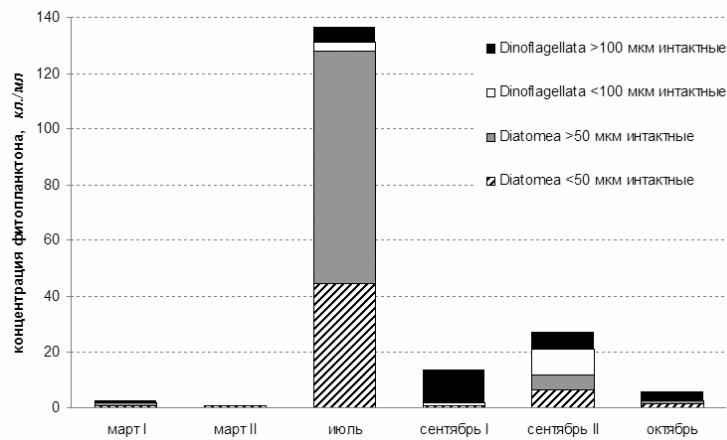


Рис. 1. Сезонная динамика состава фитопланктона (основные группы)

Наибольшей избирательностью характеризуются рачки младших копеподитных стадий, для них в большей степени характерно потребление диатомовых (рис. 2). Пищевые предпочтения рачков старших копеподитных и половозрелых стадий не сильно выражены, и наблюдается предпочтение наиболее массовых видов.

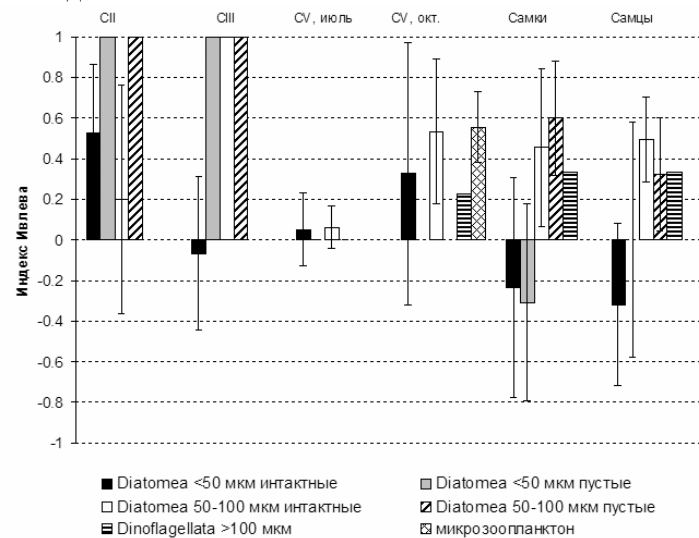


Рис. 2. Избирательность питания рачков разных возрастных стадий (Индекс Ивлева)

По нашим же данным высокие значения концентрации фитопланктона (от 80 до 180 кл./мл) не влияют на скорость потребления пищи метридией (рис. 3).

Метридия обладает большим размерным диапазоном потребляемых пищевых частиц, который зависит от возрастной стадии рачка (размеров тела). В экспериментах с рачками пятых копеподитных стадий концентрация зоопланктона была специально увеличена в несколько раз, чтобы определить значение животной пищи для метридии. Было показано, что высокие концентрации микрозоопланктона не оказывают влияния на скорость его потребления (рис. 4). Также для рачков этой стадии было показано, что увеличение температуры до +8°C и наличие освещения достоверно не влияют на их рацион и спектр питания.

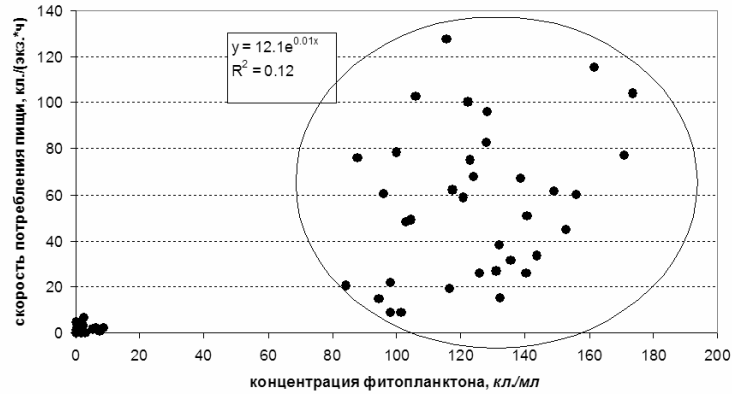


Рис. 3. Зависимость скорости потребления фитопланктона от его концентрации

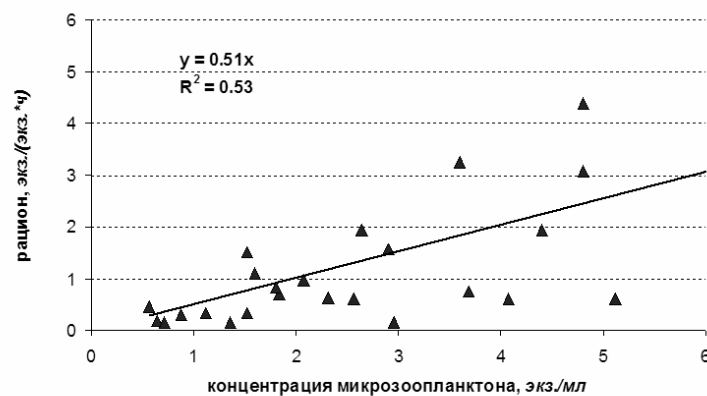


Рис. 4. Зависимость скорости потребления микрозоопланктона от его концентрации

По утверждению С. Halsband-Lenk (Halsband-Lenk, 2005) для успешного размножения, самкам копепод в период, предшествующий размножению, необходимо потребить определенное количество фитопланктона. Мы предполагаем, что у *M. longa* это происходит в осенний период, когда рачки пятой копеподитной стадии совершают наиболее интенсивные суточные вертикальные миграции в Белом море.

Работа была поддержана немецко-российской лабораторией им. О.Ю. Шмидта (грант OSL-09-16).

#### Литература

- Арашкевич Е.Г., 1978. Некоторые характеристики питания копепод. М: Тр. Ин-та Океанол. 112:117–121
- Ивлев В.С., 1964. Элементы физиологической гидробиологии // В сб.: Физиология морских животных.
- Кокин К. А., Кольцова Т. И., Хлебович Т. В., 1970. Состав и динамика фитопланктона Карельского побережья Белого моря // Ботан. журнал, т. 55, № 4. С. 499–509.
- Кокин К. А., Кольцова Т. И., 1971. К вопросу об изучении фитопланктона Белого моря // В кн.: Комплексные исследования природы океана, вып. 3. С. 172–183.
- Конопля Л. А., 1973. Вертикальное распределение фитопланктона Карельского побережья Белого моря // Океанология. Т. 13, вып. 2. С. 314–320.
- Перуева Е.Г., 1982. Характер питания и пищевые взаимоотношения пятой копеподитной стадии, самцов и самок *Metridia longa* в Белом море // Океанология. Т. 32, С. 1098–1105.
- Перуева Е.Г., 1983. Суточный ритм питания *Metridia longa* Белого моря // Океанология. Т. 34. С. 654–677.
- Перуева Е.Г., 1984. Сравнительная оценка питания двух массовых копепод Белого моря // Океанология. Т. 24. С. 813–818.

Сергеева О. М., 1991. Распределение фитопланктона в бассейне Белого моря в июле 1972 г. и в августе 1973 // В сб.: Исследования фитопланктона в системе мониторинга Балтийского моря и других морей. М: отд. Гидрометеоздата.

Halsband-Lenk C., 2005. *Metridia pacifica* in Dabob Bay, Washington: the diatom effect and the discrepancy between high abundance and low egg production rates // Progress in Oceanography. V. 67. P. 422–441.

Utermohl H., 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik // Mitteilungen der Internationalen Vereinigung für Limnologie, V. 9. P. 1–38.

## РОЛЬ NF- $\kappa$ B И МАРК В АКТИВАЦИИ ЭКСПРЕССИИ ГЕНА ARC3-LIKE В ГЕПАТОПАНКРЕАСЕ МОРСКОЙ ЗВЕЗДЫ *ASTERIAS RUBENS* ПРИ ДЕЙСТВИИ БАКТЕРИАЛЬНОГО ЛИПОПОЛИСАХАРИДА

Д.А. Могиленко<sup>1,2</sup>, Д.А. Сафина<sup>1</sup>, И.В. Кудрявцев<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> ГУ НИИ экспериментальной медицины РАМН, г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург  
e-mail: igorek1981@yandex.ru

### Введение

Компонент комплемента C3 играет важную роль в защитных реакциях и в реализации разнообразных механизмов врожденного и приобретенного иммунитета у животных. Одной из наиболее существенных функций C3 является участие в активации системы комплемента (Walport, 2001). В последнее время появляются данные об участии C3 в различных процессах приобретенного иммунитета, таких как процессинг антигена (Villiers et al., 2008), регуляции дифференцировки и созревания дендритных клеток (Reis et al., 2008), а также развитию В-клеток памяти и регуляторных Т-лимфоцитов (Ghannam et al., 2008). У позвоночных синтез и экспрессия C3 происходит главным образом в печени (Alper et al., 1969), однако в очаге воспаления эту способность приобретают и макрофаги (Colten et al., 1986). У беспозвоночных животных экспрессия C3 найдена в циркулирующих клетках: гемоцитах у асцидий (Nonaka et al., 1999) и целомоцитах у морских ежей (Al-Sharif et al., 1998). Было показано, что у беспозвоночных вторичноротых C3 действует как опсонин, усиливая способность макрофагоподобных клеток к фагоцитозу бактериального патогена (Clow et al., 2004). Интересно, что у морского ежа уровень экспрессии гена, кодирующего гомолог C3, возрастает в ответ на действие бактериального липополисахарида (Clow et al., 2000). Несмотря на это, сигнальные пути, регулирующие экспрессию гена C3 при действии ЛПС, все еще плохо изучены, как у позвоночных, так и у беспозвоночных животных.

В ходе предварительных исследований у морской звезды *Asterias rubens* фрагмент гена, гомологичного компоненту комплемента C3. Филогенетический анализ этого гена, названного ArC3-like, показал его близкое родство с генами гомологов C3 вторичноротых беспозвоночных животных. Мы обнаружили высокий уровень экспрессии гена ArC3-like в циркулирующих клетках (целомоцитах), дериватах кишки (гепатопанкреас) и в мужской гонаде у морской звезды. Мы также показали, что введение в целомическую полость морской звезды раствора бактериального ЛПС приводило к усилению экспрессии гена ArC3-like в целомоцитах и гепатопанкреас по сравнению с контрольным введением стерильной морской воды.

Целью этой работы являлось изучение NF- $\kappa$ B и МАРК сигнальных путей в процессе активации экспрессии гена ArC3-like в гепатопанкреасе морской звезды *Asterias rubens* в ответ на действие бактериального ЛПС.

### Материалы и методы

Сбор экспериментальных животных *Asterias rubens* (Echinodermata: класс *Asteroidea*, отряд *Forcipulata*) производили в июне-августе 2008 г. на базе Беломорской Биологической Станции им. акад. О.А.Скарлато ЗИН РАН. Для экспериментов использовали морских звезд с длиной луча 10±2 см. Печеночные выросты (гепатопанкреас) получали сразу после диссекции морской звезды и перфузировали стерильной морской водой (СМВ). Далее гепатопанкреас инкубировали 48 ч в полной культуральной среде на основе среды RPMI-1640 с добавлением NaCl (до 24 ‰), 10 % стерильной пулиро-



ванной сыворотки интактных морских звезд *A. rubens*, 10 mM HEPES, 2 mM L-глутамин и 80 мкг/мл гентамицина. После чего трижды отмывали СМВ и переводили в свежую среду RPMI-1640.

#### **Ингибиторы сигнальных киназ**

Ингибиторы MAP киназ были получены из Biomol: SB203580 (ингибитор p38 MAP); JNKinH II (ингибитор JNK1/2/3); U0126 (ингибитор MEK1/2). Ингибитор активации NF-κB (QNZ) был получен из Tebu-bio. Раствор ЛПС из *Salmonella typhimurium* приготавливали *ex tempera* раствор ЛПС на СМВ. Ингибиторы добавляли за 1 ч до добавления ЛПС (50 мкг/мл), после чего гепатопанкреас инкубировали 24 ч.

#### **Выделение тотальной РНК и реакция обратной транскрипции**

Тотальную РНК из гепатопанкреаса морской звезды выделяли, используя реагент STAT-60 («TEL-TEST») в соответствии с инструкциями изготовителя. Перед проведением реакции обратной транскрипции РНК обрабатывали ДНКазой I, свободной от РНКазы («Roche Applied Science»). Реакцию обратной транскрипции проводили с использованием олиго-dT праймера (T18) и обратной транскриптазы M-MuLV производства «Invitrogene» в соответствии с инструкциями изготовителя. Для проведения реакции обратной транскрипции использовали по 5 мкг тотальной РНК.

#### **Ретро-ПЦР-анализ (RT-PCR) и количественный ретро-ПЦР-анализ (qRT-PCR)**

Праймеры для ПЦР подбирали с использованием программы «Primer», разработанной В. Прутковским и О. Сокур (Институт Гриппа, РАМН). В работе были использованы праймеры, подобранные нами к кДНК гена глицеральдегид-3-фосфат дегидрогеназы (GAPDH) морской звезды (5'-ATTGCTGAGGGGTTGATGAC-3' и 5'-CTGGAACACGAAAAGCCATT-3') и праймеры кДНК гена морской звезды ArC3-like (5'-TTCCTTGGCTCTCAACGTCT-3' и 5'-TGCAAAAACAGCAAATGAGC-3'). qRT-PCR проводили при помощи анализатора нуклеиновых кислот АНК-32 (Институт Аналитического Приборостроения РАН), используя технологию SyberGreen по следующей схеме: 3 мин 95°C, затем 45 циклов, включающих 30 с 95°C, 20 с 60°C и 30 с 72°C. Рассчитанные количества кДНК каждого из генов нормировали по уровню экспрессии гена «домашнего хозяйства», (GAPDH), и представляли как относительный уровень экспрессии гена, принимая за 100% уровень экспрессии в контрольных клетках.

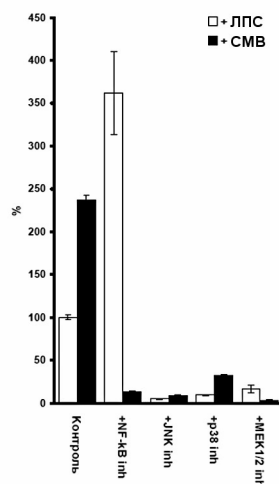
### **Результаты исследования**

Бактериальный ЛПС увеличивает уровень мРНК ArC3-like в гепатопанкреасе морской звезды *in vivo*.

Введение раствора ЛПС в целомическую полость морской звезды (с концентрацией в целомической жидкости 50–100 мкг/мл) приводило к увеличению уровня экспрессии гена ArC3-like в печеночных выростах, через 24 ч. Введение СМВ не влияло на уровень экспрессии гена ArC3-like в печеночных выростах. Изучение временной динамики экспрессии гена ArC3-like в печеночных выростах при действии ЛПС показало увеличение уровня экспрессии этого гена через 6 ч, которое достигало максимума через 12–24 ч после воздействия ЛПС в печеночных выростах. Экспрессия гена ArC3-like оставалась повышенной по сравнению с базальным уровнем даже после 48 ч с момента введения ЛПС, но снижалась относительно уровня экспрессии через 24 ч после воздействия ЛПС. В ответ на введение животным СМВ уровень экспрессии гена ArC3-like не изменялся в печеночных во временном интервале 1 – 48 ч.

Ингибирование сигнальных путей NF-κB и MEK1/2 приводит к отмене ЛПС-зависимой активации экспрессии гена ArC3-like в гепатопанкреасе морской звезды *in vitro*.

Для определения сигнальных путей, вовлеченных в ЛПС-зависимое усиление экспрессии гена ArC3-like в печеночных выростах морской звезды, мы использовали химические ингибиторы NF-κB, JNK, p38 MAP и MEK1/2. Добавление ЛПС к печеночным выростам морской звезды *in vitro* приводило к увеличению уровня мРНК ArC3-like в  $2,37 \pm 0,06$  раза по сравнению с контрольным добавлением СМВ (рис. 1). Добавление ингибитора NF-κB приводит к активации уровня экспрессии гена ArC3-like примерно в 3,5 раза и отменяет эффект ЛПС-зависимой активации экспрессии гена ArC3-like. Ингибирование JNK, p38 MAP и MEK1/2 приводит к уменьшению экспрессии гена ArC3-like на  $94,2 \pm 0,3\%$ ,  $90,2 \pm 0,6\%$  и  $83,0 \pm 4,5\%$ , соответственно (рис. 1). Однако к отмене ЛПС-зависимой активации экспрессии гена ArC3-like приводило только ингибирование MEK1/2, в то время как добавление ингибитора JNK приводило только к частичной отмене усиления экспрессии гена ArC3-like при действии ЛПС. Добавление ингибитора p38 MAP не уменьшало степень активации экспрессии гена ArC3-like при действии ЛПС (рис.).



Роль NF-κB, JNK, p38 MAP и MEK1/2 в ЛПС-зависимой активации экспрессии гена ArC3-like в гепатопанкреасе морской звезды *in vitro*. NF-κB inh – QNZ (40nM, ингибитор активации NF-κB), p38 inh – SB203580 (50 мкМ, ингибитор p38 MAP); JNK inh – JNKin II (20 мкМ, ингибитор JNK1/2/3); MEK1/2 inh – U0126 (20мкМ, ингибитор MEK1/2). Ингибиторы добавляли за 1 ч до добавления ЛПС из *Salmonella typhimurium* (50 мкг/мл) или равного объема СМВ, после чего гепатопанкреас инкубировали 24 ч. Уровни экспрессии гена ArC3-like определяли методом количественной RT-PCR. Результаты представлены как среднее значение ± стандартная ошибка среднего

### Обсуждение результатов

В этой работе мы показали ЛПС-зависимую активацию экспрессии гена, гомологичного C3 (ArC3-like), в печеночных выростах у морской звезды *Asterias rubens*. В печеночных выростах уровень экспрессии гена ArC3-like возрастает уже через 6 ч и остается повышенным по сравнению с базальным уровнем даже через 24–48 ч с момента введения бактериального ЛПС. Известно, что ЛПС действует на TLR позвоночных и беспозвоночных животных, приводя к NF-κB и MAPK-зависимой активации экспрессии генов провоспалительных факторов и генов острой фазы иммунного ответа. Известно, что в геноме морского ежа *S.purpuratus*, филогенетически близкородственного морской звезде, содержится 222 гена, потенциально кодирующих толл-подобные белки (TLR), в результате экспрессии которых может образоваться как минимум 350 белковых продуктов, что, по мнению авторов, может свидетельствовать о наличии у иглокожих неких механизмов, позволяющих увеличить спектр распознаваемых патогенов (Pancer, Cooper, 2006). Однако механизмы диверсификации этой группы Toll-подобных белков пока не изучены. Подобного рода способы увеличения спектра распознаваемых лигандов описаны и для других групп беспозвоночных и позвоночных животных, причем в качестве распознаваемых молекул используются как белки, обогащенные лейцин-богатыми повторами, так и белки, несущие иммуноглобулиновые молекулы (Pancer, Cooper, 2006). Кроме того, в геноме иглокожих присутствуют гомологи генов транскрипционных факторов сигнального пути NF-κB (Hibino et al., 2006). Ингибирование NF-κB отменяет эффект ЛПС-зависимой активации экспрессии гена ArC3-like у морской звезды (рис. 1), что, по-видимому, указывает на участие NF-κB в передаче активаторного сигнала от ЛПС на экспрессию гена ArC3-like в клетках печеночных выростов. Уменьшение экспрессии гена ArC3-like при добавлении ингибиторов JNK, p38 MAP и MEK1/2 может свидетельствовать о положительном вкладе MAPK сигнального пути в регуляцию экспрессии гена ArC3-like у морской звезды (рис. 1). Интересно, что к отмене ЛПС-зависимой активации экспрессии гена ArC3-like приводило только ингибирование MEK1/2, но не JNK, p38 MAP (рис. 1). Полученные нами данные указывают, что активация экспрессии гена ArC3-like в печеночных выростах у морской звезды при действии бактериального ЛПС опосредованно активацией NF-κB и MEK1/2 сигнальных путей. Работа поддержана грантом РФФИ № 08-04-00111.

### Литература

Alper C.A., Johnson A.M., Birtch A.G., Moore F.D., 1969. Human C3: evidence for the liver as the primary site of synthesis // Science. V. 163. P. 286–288.

- Al-Sharif W.Z., Sunyer J.O., Lambris J.D., Smith L.C., 1998. Sea urchin coelomocytes specifically express a homologue of the complement component C3 // *J. Immunol.* V. 160. P. 2983–2997.
- Clow L.A., Gross P.S., Shih C., Smith L.C., 2000. Expression of SpC3, the sea urchin complement component, in response to lipopolysaccharide // *Immunogenetics.* V. 51. P. 1021–1033.
- Clow L.A., Raftos D.A., Gross P.S., Smith L.C., 2004 The sea urchin complement homologue, SpC3, functions as an opsonin // *J. Exp. Biol.* V. 207 (12). P. 2147–2155.
- Colten H.R., Strunk R.C., Perlmutter D., Cole F.S., 1986. Regulation of complement protein biosynthesis in mononuclear phagocytes // *Ciba Found Symp.* V. 118. P. 141–154.
- Ghannam A., Pernollet M., Fauquert J.L., Monnier N., Ponard D., Villiers M.B., Péguet-Navarro J., Tridon A., Lunardi J., Gerlier D., Drouet C., 2008. Human C3 deficiency associated with impairments in dendritic cell differentiation, memory B cells, and regulatory T cells // *J. Immunol.* V. 181 (7). P. 5158–5166.
- Hibino T., Loza-Coll M., Messier C., Majeske A.J., Cohen A.H., Terwilliger D.P., Buckley K.M., Brockton V., Nair S.V., Berney K., Fugmann S.D., Anderson M.K., Pancer Z., Cameron R.A., Smith L.C., Rast J.P., 2006. The immune gene repertoire encoded in the purple sea urchin genome // *Dev. Biol.* V. 300. P. 349–365.
- Nonaka M., Azumi K., Ji X., Namikawa-Yamada C., Sasaki M., Saiga H., Dodds A.W., Sekine H., Homma M.K., Matsushita M., Endo Y., Fujita T., 1999. Opsonic complement component C3 in the solitary ascidian, *Halocynthia roretzi* // *J. Immunol.* V. 162. P. 387–391.
- Pancer Z., Cooper M.D., 2006. The evolution of adaptive immunity // *Annu. Rev. Immunol.* V. 24. P. 497–518.
- Reis E.S., Barbuto J.A., Köhl J., Isaac L., 2008. Impaired dendritic cell differentiation and maturation in the absence of C3 // *Mol. Immunol.* V. 45 (7). P. 1952–1962.
- Villiers C.L., Cretin F., Lefebvre N., Marche P.N., Villiers M.B., 2008. A new role for complement C3: regulation of antigen processing through an inhibitory activity // *Mol. Immunol.* V. 45 (13). P. 3509–3516.
- Walport M.J., 2001. Advances in immunology: complement (first of two part) // *N. Engl. J. Med.* V. 344. P. 1058–1066.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ ПЕЧЕНИ И ЖАБР ЛЕЩА (*ABRAMIS BRAMA L.*) ИЗ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В КАЧЕСТВЕ БИОИНДИКАТОРА ЗАГРЯЗНЕНИЯ СРЕДЫ ПОЛИХЛОРИРОВАННЫМИ БИФЕНИЛАМИ

А.А. Морозов<sup>1</sup>, Г.М. Чуйко<sup>1</sup>, Е.С. Бродский<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Учреждение Российской академии наук Институт биологии внутренних вод  
им. И.Д. Папанина РАН, пос. Борок Ярославской обл., Россия

<sup>2</sup>Учреждение Российской академии наук Институт проблем экологии и эволюции  
им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва  
e-mail: morozov@ibiw.yaroslavl.ru

### Введение

Одной из приоритетных групп загрязнителей водной среды являются полихлорированные бифенилы (ПХБ). Они способны аккумулироваться в тканях рыб, находиться в них длительное время и изменять ход важнейших процессов жизнедеятельности. В то же время, рыба, являясь одним из последних звеньев в пищевых цепях водных биоценозов, обладает способностью концентрировать многие токсические метаболиты, представляет собой угрозу здоровью человека при ее потреблении в пищу.

При мониторинге водных экосистем необходим индивидуальный анализ химических компонентов не только в окружающей среде, но также в тканях животных и растений. Это объясняет возрастающий интерес к изучению реакции обитателей экосистем на антропогенное воздействие. Интегральная оценка здоровья рыб может служить обобщенным показателем состояния всего водного сообщества, в том числе экологического благополучия или неблагополучия водоема. При этом необходимо проводить исследования на различных уровнях организации живых систем. Изменения на молекулярном и мембранном уровнях могут служить сигналом к далеко идущим последствиям для данного вида организмов задолго до того, как наступят необратимые изменения в численности, биологической продуктивности, ареале распространения вида и т.п.

За последние десятилетия накопился обширный материал о реакции рыб на химическое загрязнение. Растущий уровень антропогенного воздействия на природные популяции рыб остро ставит проблему их адаптивных возможностей. В этой связи особую важность представляет изучение наиболее чувствительных и быстро реагирующих систем организма. В число последних входит сис-

тема антиоксидантной (АО) защиты [Гостюхина, 2008; Довженко, 2006; Магомедгаджиева, 2002; Руднева, 2003; Di Giulio et al, 1995; Møller et al, 1996].

Рыбинское водохранилище – одно из крупнейших в Волжской системе водохранилищ. Ранее была показана пространственная неравномерность загрязнения экосистемы водохранилища веществами антропогенного происхождения, в том числе и ПХБ. Было установлено, что основным локальным источником химического загрязнения водохранилища является Череповецкий индустриальный комплекс. Наиболее загрязненным районом водохранилища является участок Шекснинского плеса от г. Череповца и на протяжении 40–50 км ниже его по течению вдоль бывшего русла р. Шексны. Наиболее чистый район – Моложский плес [Козловская и др., 1997; Флеров и др., 2000; Чуйко и др., 2008]. В связи с этим возникает необходимость сравнительной оценки состояния здоровья рыб, из районов водохранилища, с различной степенью загрязненности.

Цель работы – сопоставить величины показателей АО системы и процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ) в печени и жабрах леща из Рыбинского водохранилища с уровнем накопления общего количества ПХБ, а также отдельных групп конгенов, в печени леща для оценки состояния здоровья рыб.

### Материалы и методы

Объектом исследования служил лещ *Abramis brama* L. обоего пола, со средними значениями длины и массы тела 35 см и 809 г соответственно. Вылов производился траловым методом в конце июля 2008 г. на 2-х станциях Рыбинского водохранилища: Любец и Первомайка (рис.). После отлова и проведения биоанализа у рыб выделяли печень и жабры, и хранили их при  $-18^{\circ}\text{C}$  до последующего анализа.



Расположение станций отбора проб

Определение качественного состава и содержания ПХБ в рыбе проводилось в Лаборатории аналитической экотоксикологии ИПЭЭ РАН методом хромато-масс-спектрометрии высокого разрешения в собственной модификации [Шелепчиков и др., 2008].

Исследования по определению содержания и активности продуктов ПОЛ и компонентов АО системы проводились в Лаборатории физиологии и токсикологии водных животных ИБВВ РАН. Перед анализом печень и жабры промывали холодным 0,1 М фосфатным буфером с pH 7,5. Затем гомогенизировали тефлоновым пестиком в стеклянном гомогенизаторе Поттера-Эльвегейма с электроприводом. В цельном гомогенате определяли: содержание малонового диальдегида (МДА) [Владимиров и др., 1972], восстановленного глутатиона (GSH) [Moron et al, 1979] и активность каталазы (К.Ф.1.11.1.6) [Королюк и др., 1988]. В супернатантах измеряли: активность супероксиддисмутазы (СОД, К.Ф.1.15.1.1) [Чевари и др., 1985]; конъюгирующую активность глутатион-S-трансферазы (GST, К.Ф.2.5.1.18) [Habig et al, 1974]. Содержание белка определяли по методу [Bradford, 1976]. Определение биохимических показателей проводилось на спектрофотометре Lambda 25 (Perkin Elmer, США). Каждую пробу измеряли дважды.

Результаты представлены в виде средних значений и их ошибок ( $x \pm SE$ ). Достоверность различий оценивалась методом однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA, LSD-test,  $p=0.05$ ). Статистическая обработка данных проведена с помощью пакета прикладных программ Statistica 6,0 и MS Excel 2003.

### Результаты и обсуждение

Выбор станций обусловлен многолетними исследованиями ряда авторов [Козловская и др., 1997; Флеров и др., 2000; Чуйко и др., 2008]. Станция Любец находится в зоне хронического локального антропогенного загрязнения, тогда как станция Первомайка – в относительно чистом районе Моложского плеса. При сопоставлении полученных данных о содержании ПХБ в печени рыб, обнаружилось многократные различия между исследованными станциями. Эти различия относятся как к общему содержанию ПХБ, так и к содержанию отдельных групп конгенов (табл. 1).

Таблица 1

**Показатели общего содержания и отдельных групп конгенов (по степени хлорированности) ПХБ в печени леща из разных районов Рыбинского водохранилища**

Станция	N	Содержание ПХБ, нг/г липидов					
		Общее	ДиХБ	ТриХБ	ТетраХБ	ПентаХБ	ГексаХБ
Любец	7	1501,7	1,995	65,9	567,2	2885,4	1871,2
Первомайка	10	204,6	1,803	17,7	63,1	81,8	32,4

Примечание: N – количество исследованных особей.

Основной вклад в общее содержание ПХБ в печени рыб на обеих исследованных станциях вносит группа пентахлорированных бифенилов. Однако, наряду с этой группой конгенов, весомая доля от общего количества ПХБ в печени леща на станции Любец приходится на гексахлорированные бифенилы, а в печени леща на станции Первомайка – на тетрахлорированные бифенилы (табл. 2).

Таблица 2

**Вклад отдельных групп конгенов ПХБ в общее содержание ПХБ в печени леща из разных районов Рыбинского водохранилища**

Станция	Доля основных групп конгенов ПХБ в их общем содержании, %				
	ДиХБ	ТриХБ	ТетраХБ	ПентаХБ	ГексаХБ
Любец	0,04	1,16	9,95	50,61	32,82
Первомайка	0,88	8,64	30,83	40,00	15,85

Такой характер качественного и количественного содержания ПХБ указывает на разные источники их поступления в данные районы водохранилища. Загрязнение Шекснинского плеса носит локальный характер, а Моложского связано с глобальным трансграничным атмосферным переносом. В пользу этого свидетельствует и особый гидрологический режим водоема, не позволяющий

водам Шекснинского плеса попадать в Моложский плес (рис. 1). Смешение вод обоих плесов происходит только в Центральном плесе.

Сравнительный анализ данных по большинству исследованных биохимических параметров в печени показал достоверные различия между лещами, выловленными на исследованных станциях (табл. 3).

Таблица 3

**Значения некоторых параметров биотрансформации ксенобиотиков, ПОЛ и АО системы в печени леща из разных районов Рыбинского водохранилища**

Станция	N	Показатели				
		МДА, кмоль/мкг белка	GSH, пкмоль/мкг белка	ГСТ, нмоль/мкг белка в мин.	Каталаза, нмоль/мкг белка в мин.	СОД, $\Delta E \times 10^{-6}$ /мкг белка в мин.
Любец	7	$0,601 \pm 0,130^2$	$9,51 \pm 0,69^1$	$1,03 \pm 0,12^1$	$25,4 \pm 1,9^1$	$11,0 \pm 1,4^1$
Первомайка	10	$0,311 \pm 0,055^1$	$9,48 \pm 1,00^1$	$3,39 \pm 0,18^2$	$37,6 \pm 2,6^2$	$22,6 \pm 1,2^2$

Примечание: N – количество исследованных особей. Значения с различными цифровыми индексами, для каждого параметра АОС, достоверно отличаются (ANOVA, LSD тест,  $p=0,05$ ).

У лещей, выловленных на станции Любец, содержание МДА в печени почти в 2 раза больше, чем на станции Первомайка. Вместе с тем у них, относительно лещей со станции Первомайка, наблюдается низкий уровень GSH и слабая активность ГСТ, каталазы и СОД (табл. 3). С одной стороны, это указывает на высокую интенсивность образования АФК в печени рыб и, как результат, усиление процессов ПОЛ. С другой стороны, свидетельствует о подавленном функциональном состоянии АОС и ее неспособности успешно нейтрализовать АФК.

Лещи, выловленные на станции Первомайка, наряду с низким содержанием МДА и GSH характеризуются высокой активностью АО ферментов. В совокупности это позволяет говорить об активном функциональном состоянии АОС и, как результат, низком уровне АФК в печени этих рыб.

Сравнительный анализ величин биохимических показателей в жабрах рыб на исследованных станциях подтверждает данные, полученные при анализе печени лещей (табл. 4).

Таблица 4

**Значения некоторых параметров биотрансформации ксенобиотиков, ПОЛ и АО системы в жабрах леща из разных районов Рыбинского водохранилища**

Станция	N	Показатели				
		МДА, пкмоль/мкг белка	GSH, пкмоль/мкг белка	ГСТ, нмоль/мкг белка в мин.	Каталаза, нмоль/мкг белка в мин.	СОД, $\Delta E \times 10^{-6}$ /мкг белка в мин.
Любец	7	$3,09 \pm 0,92^1$	$1,08 \pm 0,53^1$	$0,08 \pm 0,03^1$	$12,4 \pm 2,60^1$	$23,4 \pm 4,35^1$
Первомайка	10	$2,89 \pm 0,81^1$	$1,09 \pm 0,63^1$	$1,80 \pm 0,48^2$	$17,5 \pm 6,73^1$	$32,0 \pm 6,64^2$

Примечание: N – количество исследованных особей. Значения с различными цифровыми индексами, для каждого параметра АОС, достоверно отличаются (ANOVA, LSD тест,  $p=0,05$ ).

Соответственно тому, что содержание МДА в жабрах лещей на станции Любец несколько превышает таковое у лещей на станции Первомайка, уровни большинства АО параметров в жабрах рыб на последней станции выше, чем на станции Любец.

При изучении АОС нельзя не учитывать тканевую специфику, связанную с конкретными физиологическими функциями исследуемых тканей, поскольку в разных тканях скорость процессов ПОЛ и активность ферментов АОС может различаться.

Продукты ПОЛ в печени образуются в меньшем количестве, чем в жабрах. При этом активность АОС печени отличается высокой эффективностью всех ее элементов. Полученные уровни активности каталазы и СОД свидетельствуют о том, что в клетках печени процессы ПОЛ протекают с высокой интенсивностью, а указанным ферментам принадлежит ключевая роль в АО защите данной ткани. Известно, что печень рыб принимает участие в процессах детоксикации, аккумуляции антигенов и выведения их из организма [Микряков и др., 2001]. Высокая эффективность работы каталазы и СОД реализуется в снижении количества АФК, на что указывает относительно невысокое содержание МДА.

АО профиль жабр характеризуется большим, чем в печени содержанием продуктов ПОЛ и гораздо меньшим количеством GSH. Такой профиль АОС в жабрах, видимо, обусловлен функцией дыхания и обмена кислородом между внешней и внутренней средой, которую они выполняют в организме рыб. По этой причине ткани жабр обладают высокой степенью насыщенности кровью, эритроциты которой имеют мощную собственную АОС. Видимо, основную нагрузку по АО защите в жабрах берет на себя АОС эритроцитов, где и генерируется основная часть АФК, как побочный продукт взаимодействия кислорода с гемоглобином. АОС ткани жабр в этом процессе может играть вспомогательную роль.

Анализ полученных данных позволяет предположить, что высокий уровень содержания МДА и низкая активность ферментов АОС в печени и жабрах леща из Любца обусловлены повышенным уровнем загрязнения этого района водохранилища.

Таким образом, при сопоставлении величин показателей АОС и ПОЛ в печени и жабрах леща из 2-х районов Рыбинского водохранилища с уровнем накопления общего количества ПХБ, а также отдельных групп конгенов, в печени леща, можно заключить, что лещ в районе Первомайки находится в более благоприятном состоянии, чем в районе Любца. Выявленные различия в состоянии АОС и ПОЛ в печени и жабрах леща на исследованных станциях хорошо соотносятся с данными о степени антропогенной нагрузки в этих районах водохранилища, что подтверждают результаты по содержанию ПХБ в печени этих рыб. Показатели АОС и ПОЛ можно использовать в качестве биомаркера для оценки состояния здоровья рыб.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 08-05-00805.*

### Литература

Владимиров Ю.А., Арчаков А.И., 1972. Перекисное окисление липидов в биологических мембранах. М.: Наука. 242 с.

Гостюхина О.Л., 2008. Особенности антиоксидантного статуса тканей двустворчатого моллюска *Mytilus Galloprovincialis* Lam. в условиях окислительного стресса: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Симферополь: Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского. 25 с.

Довженко Н.В., 2006. Реакция антиоксидантной системы двустворчатых моллюсков на воздействие повреждающих факторов среды: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владивосток: ДВГУ МОН РФ. 23 с.

Козловская В.И., Герман А.А., 1997. Полихлорированные бифенилы и полиароматические углеводороды в экосистеме Рыбинского водохранилища // Вод. ресурсы. Т. 24, № 5. С. 563–569.

Королюк М.А., Иванова Л.И., Майорова И.Г., Токарев В.Е., 1988. Метод определения активности каталазы // Лаб. дело. № 1. С. 16–19.

Магомедгаджиева Д.Н., 2002. Токсическое воздействие среды на некоторые показатели липидного обмена и системы антиоксидантной защиты рыб: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Махачкала: Институт прикладной экологии ДГУ. 23 с.

Микряков В.Р., Балабанова Л.В., Заботкина Е.А., Лапирова Т.Б., Попов А.В., Силкина Н.И., 2001. Реакция иммунной системы рыб на загрязнение воды токсикантами и закисление среды. М.: Наука. 126 с.

Руднева И.И., 2003. Эколого-физиологические особенности антиоксидантной системы рыб и процессов перекисного окисления липидов. // Усп. совр. биол. Т. 123, № 4. С. 391–400.

Флёров Б.А., Томилина И.И., Кливленд Л., Баканов А.И., Гапеева М.В., 2000. Комплексная оценка состояния донных отложений Рыбинского водохранилища // Биол. внутр. вод. №2. С. 148–155.

Чевари С., Чаба И., Секей Й., 1985. Роль супероксиддисмутазы в окислительных процессах клетки и метод определения ее в биологических материалах // Лаб. дело. № 11. С. 678–681.

Чуйко Г.М., Законнов В.В., Герман А.В., Бродский Е.С., Шелепчиков А.А., Фешин Д.Б., Тиллитт Д.Э., 2008. Распределение полихлорированных бифенилов в экосистеме Рыбинского водохранилища при их локальном поступлении // Современное состояние водных биоресурсов: материалы научной конференции, посвященной 70-летию С.М. Коновалова. Владивосток: ТИНРО-центр. С. 680–685.

Шелепчиков А.А., Бродский Е.С., Фешин Д.Б., Жильников В.Г., 2008. Определение полихлорированных бифенилов и пестицидов в объектах окружающей среды и биоматериалах методом хроматомасс-спектрометрии высокого разрешения // Масс-спектрометрия. Т.5, № 4. С.245–258.

Bradford M. M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principal of protein-dye binding. // Anal. Biochem. V. 72. P. 248–254.

Di Giulio R.T., Benson W.H., Sanders B.M., Van Veld P.A., 1995. Biochemical mechanisms: metabolism, adaptation, and toxicity / In: G.M. Rand (ed.) Fundamentals of aquatic toxicology. Effects, environmental fate, and risk assessment. Washington, D.C.: Taylor & Francis. Second edition. Ch. 17. P. 523–561.

Habig W.H., Pabst M.J., Jacoby W.B., 1974. Glutathion-s-transpherase: the first step in mercapturic acid formation // J. Biol. Chem. V. 249. P. 7130–7139.



Møller P., Wallin H., Knudsen L.E. Oxidative stress associated with exercise, psychological stress and life-style factors // *Chemico-Biological Interactions*. 1996. V. 102. P. 17–36.

Moron M.S., Depierre J.W., Mannervik B. Levels of glutathione, glutathione reductase and glutathione S-transferase activities in rat lung and liver // *Biochim. Biophys. Acta*, 1979. V. 582. P. 67–78.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОМЫСЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕЛОМОРСКИХ ФУКОИДОВ В ШХЕРНЫХ РАЙОНАХ ОНЕЖСКОГО ЗАЛИВА

О.Н. Мохова

Северный филиал ПИНРО, Архангельск, Россия  
e-mail: mohova@sevpinro.ru

Острова Сумских и Кемских шхер относятся к категории промысловых районов для заготовки морских водорослей. Они расположены вдоль Поморского берега в западной части Онежского залива.

Сумские шхеры включают в себя острова, расположенные в прибрежье от д. Юково до мыса Тумище, Кемские шхеры занимают акваторию от Рабочеостровска до Мягреки.

Для определения современного состояния сырьевой базы фукусковых водорослей в этих районах в 2007 г. была обследована литоральная зона практически всех островов, составляющих указанные шхеры.

Работы выполнялись на НИС «Протей» согласно методическим рекомендациям СевПИНРО (Пронина и др. 2009).

Исследования показали, что одним из основных объектов для промысла являются фукоиды. Преобладают наиболее распространенные виды: это *Fucus vesiculosus* L. (*F. vesiculosus*) и *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis (*A. nodosum*).

По результатам исследований в районе Сумских шхер выделено три локальных участка с пригодными для организации промысла фукусowymi зарослями.

Первый участок включает побережье о. Сумостров. Промысловые скопления фукусowych водорослей расположены вдоль всего северного побережья. Здесь преобладают заросли с проективным покрытием дна водорослями от 30 до 60 %. На коргах отмечены единичные пятна зарослей с большей плотностью, проективное покрытие дна в них достигает 70 %.

Второй участок включает побережье островов Разостров и Седостров, где заросли фукоидов пятнистого характера сконцентрированы в северной части о. Разостров и в западной части о. Седостров. Проективное покрытие дна в зарослях варьирует в пределах от 30 до 70 %.

Третий участок – побережье материка с коргами и островками северо-западнее д. Юково. Заросли фукусowych водорослей расположены вдоль побережья от д. Юково до м. Медвежий и на корге севернее о. Юков. Проективное покрытие дна фукоидами изменяется от 30 до 70 %, на корге оно достигает 60–70%.

Первый и третий участок по промысловым характеристикам водорослей (биомасса, проективное покрытие дна и ширина зарослей) очень похожи (табл.1). Но, так как площади зарослей и запас различен, была рассчитана величина удельного запаса (отношение запаса к единице площади) с целью определения наиболее продуктивного участка для промысла. Показатель удельного запаса максимален в районе д. Юково, он составляет – 57,8 т/га, у о. Сумостров – 34,4 т/га, и, минимален в районе о-вов Разостров и Седостров – 23,1 т/га.

По результатам анализа видового состава водорослей на выделенных участках можно отметить, что на первом участке, практически во всех зарослях северо-западной и северной части о. Сумостров, доминирует *A. nodosum*, с восточной стороны острова наблюдается равнодоминантное соотношение *A. nodosum* и *F. vesiculosus*. В районе о. Разостров в зарослях фукоидов незначительно преобладает *F. vesiculosus* – процентное соотношение видов составляет 53 % к 47 %. В западной части о. Седостров отмечаются заросли со 100 %-ым доминированием *F. vesiculosus*, которые по направлению с юга на север постепенно переходят в равнодоминантное сообщество. Вдоль побережья д. Юково в более плотных скоплениях фукоидов преобладает *A. nodosum*, в наиболее разреженных зарослях наблюдается равнодоминантное соотношение обоих видов. На корге севернее о. Юков незначительно преобладает *F. vesiculosus*, его доля по отношению к *A. nodosum* составляет 60 %.



**Средние значения промысловых характеристик на обследованных шхерных участках Онежского залива Белого моря**

Район	Проективное покрытие, %	Биомасса, кг/м <sup>2</sup>	Ширина зарослей, м	Доминирующий вид, %	Удельный запас т/га
<b>Сумские шхеры</b>					
о.Сумостров	46	9,0	26	А.п. 54	34,4
о-ва Разостров и Седостров	35	4,6	18	F.v. 61	23,1
д.Юково-м. Медвежий	46	11,0	29	А.п. 56	57,8
В целом по акватории Сумских шхер:	43	8,1	24	А.п. 51 F.v. 49	46,9
<b>Кемские шхеры</b>					
Группа о-вов Пяллууды	48	6,1	13	F.v. 72	39,5
Группа о-вов Коловары	43	7,1	18	А.п. 53	29,6
Группа о-вов Тапаруха, Подвосточный, Корожный	58	9,3	29	А.п. 48 F.v. 47 F.d. 5	55,8
В целом по акватории Шуерецких шхер:	48	6,9	17	А.п. 45 F.v. 52 F.d. 3	41,6

В районе Кемских шхер можно также выделить три промысловых участка для промысла фукоидов.

Первый участок включает в себя группу островов Пяллууды. Здесь плотных зарослей мало, они отмечены в северо-восточной части о. Большой Каменный, в северо-западной части о. Ламбин. Проективное покрытие дна достигает 70 %. Менее плотные заросли расположены вокруг островов Бол. Каменный, Кустова, с западной стороны о. Могильный, отдельные пятна отмечены в северной и южной частях о. Ламбин и на востоке о. Пяллууда. Разреженные заросли с проективным покрытием дна от 30 до 50 % сконцентрированы, в основном, в северной и восточной части участка: с северной и южной сторон о. Ламбин, с северной стороны о. Пяллууда и на мелких островках восточнее о. Бол. Каменный.

Второй участок – это группа островов Коловары. На участке плотных зарослей не обнаружено, а преобладают более разреженные заросли с проективным покрытием дна 30–50 %, которые расположены вокруг о. Ольховый, с западной стороны о. Сев. Коловар, с восточной и южной сторон о. Южн. Коловар. Заросли с проективным покрытием дна от 50 до 70 % сконцентрированы, в основном, в южной части участка вокруг мелких островков, расположенных рядом с о. Южн. Коловар, единичные заросли отмечены на севере островов Ягель и Кашин.

Третий участок – акватория островов Тапаруха, Подвосточный и Корожный. На участке заросли с проективным покрытием дна более 70 % расположены на юге о. Подвосточный и на севере о. Корожный. Менее плотные отмечены в восточной части о. Тапаруха, вдоль обширной осушки о. Корожный, на юге о. Избяной и на севере о. Плоский. Разреженные заросли встречаются в южной части о. Тапаруха, между островами Избяной и Подвосточный.

В Кемских шхерах к наиболее продуктивному участку, где единице площади соответствует максимальный запас, можно отнести третий участок: острова Тапаруха, Подвосточный и Корожный (удельный запас равен 55,8 т/га). Менее продуктивный – акватория островов Пяллууды (удельный запас равен 39,5 т/га). Минимальный удельный запас отмечен у островов Коловары – 29,6 т/га.

По видовому составу в Кемских шхерах наблюдается следующее. На первом участке в районе о. Пяллууда и на островках между о. Ламбин и о. Бол. Каменный преобладает *F. vesiculosus*. Вдоль побережий островов Ламбин и Бол. Каменный в более плотных скоплениях фукоидов доминирует *A. nodosum* или наблюдается равнодоминантное соотношение обоих видов, в наиболее разреженных зарослях – *F. vesiculosus*. В районе островов Коловары в северо-западной части о. Сев. Коловар и на юго-востоке о. Южн. Коловар в поясе фукоидов до 70 % доминирует *A. nodosum*, на остальных островах, в основном, равнодоминантные сообщества. На третьем участке почти во всех зарослях

наблюдается равное соотношение *A. nodosum* и *F. vesiculosus*. Доминирующее положение *A. nodosum* отмечено только с восточной стороны о. Тапаруха и на юге о. Подвосточный, его доля достигает 70 % по отношению к другим видам фукусовых водорослей (*F. vesiculosus* и *Fucus distichus* L. (*F. distichus*)).

Средние характеристики (биомасса, проективное покрытие дна и ширина зарослей) в целом в акваториях Сумских шхер и Кемских шхер различаются несущественно, в обоих районах в основном отмечены равнодоминантные фукусовые сообщества, практически одинаковые и показатели удельного запаса (см. табл. 1).

### **Заключение**

Таким образом, по промысловым характеристикам оба шхерных района Онежского залива почти не отличаются друг от друга и являются перспективными для освоения сырьевой базы фукусовых водорослей.

При организации промысла в Сумских шхерах предпочтение необходимо отдать району д. Юково, где на единицу площади приходится максимальный запас. Для заготовки преимущественно *A. nodosum* наибольший интерес представляет о. Сумостров и побережье у д. Юково, а для *F. vesiculosus* – острова Седостров, Разостров и корга севернее о. Юков. Для эксплуатации смешанных зарослей – восточная часть о. Сумостров и северо-восточная часть п-ова Медвежий.

В районе Кемских шхер наиболее продуктивный участок – это акватория островов Тапаруха, Подвосточный и Короткий. Для выборочной добычи *F. vesiculosus* приоритетными являются о-ва Пялуды, для *A. nodosum* – частично острова Сев. и Южн. Коловар, а также Тапаруха и Подвосточный. Побережья остальных островов Кемских шхер пригодны для добычи смешанных зарослей.

### **Литература**

Пронина О.А. и др., 2009. Методические рекомендации по организации сбора первичной биологической информации, оценке запасов и ОДУ промысловых водорослей Белого моря. Мурманск: ПИНРО. 71 с.

## **THE COMPARATIVE ANALYSIS OF PICKING CHARACTERISTICS AMONG WHITE SEA FUCOIDS IN SKERRY AREAS OF THE ONEGA GULF**

**O.N. Mokhova**

Northern Branch of PINRO, Arkhangelsk, Russia  
e-mail: mohova@sevpinro.ru

In Sumskie and Kemske skerries the intertidal zone of islands is surveyed and the basic objects for picking of seaweed are appointed in 2007. These are *Fucus vesiculosus* L. (*F. vesiculosus*) and *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis (*A. nodosum*). In both areas the most productive sites for picking are allocated, the such picking characteristics are used like the biomass, projective covering of a bottom, width of thickets; the size of a specific stock is calculated also. On the allocated sites the fucoid ratio and prevalence of a dominating species for selective picking are determined.

## **О ЗАГРЯЗНЕННОСТИ БЕНЗ(А)ПИРЕНОМ ДОНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮГО-ВОСТОЧНОГО РАЙОНА БАРЕНЦЕВА МОРЯ**

**Е.А. Муравьева**

Северный филиал Полярного НИИ морского рыбного хозяйства и океанографии  
им. Н.М.Книповича, г. Архангельск, Россия  
e-mail: muravyeva@sevpinro.ru

### **Введение**

Одной из наиболее актуальных проблем охраны морских биоресурсов является оценка воздействия нефтяного загрязнения на состояния водных экосистем.

Нефть и нефтепродукты (НПР) относятся к наиболее массовым загрязняющим веществам морей и океанов, без учета которых корректная оценка степени загрязненности акваторий не представ-

ляется возможной (Миронов, 2000). В свою очередь, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), являются наиболее токсичной группой углеводородов и имеют канцерогенные и мутагенные свойства (Ильницкий и др., 1979). Значительный интерес представляет канцерогенный бенз(а)пирен (Б(а)П). Он является приоритетным токсикантом окружающей среды, обладает наибольшей канцерогенной и мутагенной активностью, и поэтому, был выбран в качестве индикатора группы ПАУ (Герлах, 1985).

В процессе самоочищения морской среды от углеводородов значительная роль принадлежит донным отложениям, которые, адсорбируя углеводороды, с одной стороны, ведут к уменьшению их содержания в воде, а с другой – могут служить при определенных условиях источником повторного загрязнения воды. При этом наносы и взвешенные частицы, действуя как «ловушки», играют значительную роль в миграции нефтяных загрязнений.

Углеводороды в результате адсорбции на взвешенных частицах осаждаются на дно, причем не всегда они остаются на поверхности донных отложений. Сложные физические, химические и биологические процессы, происходящие на поверхности раздела вода – донные отложения или вблизи него, могут изменять физическое и химическое состояние углеводородов. Кроме того, связанные со взвешенными частицами, углеводороды под воздействием гидрометеорологических факторов могут вновь перейти в толщу воды и возвратиться в повторный цикл с последовательными стадиями: высвобождение – окисление – осаждение (Шлыгин, 1983).

В относительно глубоководных районах при наличии придонных течений повышенная концентрация нефти в донных отложениях обуславливается также повторным суспендированием взвешенных частиц, содержащих углеводород. В прибрежных и мелководных районах повторное суспендирование частиц и их осаждение на дно имеет даже более важное значение.

Цель работы – получение информации об уровне Б(а)П в донных отложениях прибрежной зоны юго-восточной части Баренцева моря.

### **Материалы и методы**

Объектами данного исследования явились пробы донных отложений, отобранных на сетке станций в центральной части Печорского моря, на сетке станций в прибрежном районе Печорского моря у п. Варандей и в прибрежной зоне Новой Земли научно-исследовательскими суднами «Протей» и «Поиск».

До непосредственного проведения анализа пробы грунта, упакованные в стеклянную тару, хранили в прохладном месте. Затем в аналитической лаборатории пробы размораживали, высушивали при комнатной температуре, растирали в ступке и просеивали через сито с размером ячеек 1 мм.

Собранные пробы анализировались по методикам, рассмотренным и одобренным ФГУ «Центр экологического контроля и анализа» Министерства природных ресурсов России.

Метод измерения Б(а)П в донных отложениях основывался на экстракции его хлористым метиленом, концентрировании экстракта, при необходимости очистки его методом колоночной хроматографии, хроматографическом его разделении, регистрации сигнала с использованием флуоресцентного детектора, идентификации пика Б(а)П на хроматограмме по времени удержания и расчете массовой концентрации Б(а)П (Методика ПНД Ф 16.1:2:2:2:3.39-03).

### **Результаты и обсуждение**

Основными источниками поступления Б(а)П в юго-восточную часть Баренцева моря являются речной сток, особенно вклад реки Печоры, и приток более загрязненных вод с западной части Баренцева моря. Второстепенными источниками загрязнения рассматриваемого морского региона служат населенные пункты (воинские части) на побережье моря, утечки нефти с территории прибрежных месторождений нефти и судоходство. Определенный вклад в загрязнение морской среды также вносят атмосферные осадки.

Статистическая характеристика содержания Б(а)П (мкг/кг) в донных отложениях центральной части Печорского моря за 2007 и 2008 гг. дана в таблице 1. Содержание Б(а)П в донных отложениях прибрежной части Печорского моря за 2006 и 2007 гг. представлена в таблице 2. Содержание Б(а)П в донных отложениях прибрежной зоны Новой земли дано в таблице 3.

Аварийных разливов нефти в рассматриваемых участках за 2006–2008 гг. не отмечалось.

Донные отложения центральной части Печерского моря

Дно на глубинах >20м покрыто илистым песком и песчаным илом. К северу от устья реки Печора в илистом песке встречается гравий и галька, а также обломки раковин моллюсков, иглокожих.

Таблица 1

**Статистические характеристики содержания бенз(а)пирена (мкг/кг)  
в донных отложениях центральной части Печорского моря за 2007 и 2008 гг.**

Статистика	2007 г	2008 г
Среднее значение	3,94	0,11
Стандартное отклонение	2,02	0,06
Медиана	4,60	0,09
Трехсреднее значение	4,32	0,10
Нижний квартиль (25%)	2,77	0,06
Верхний квартиль (75%)	5,32	0,15
Интерквартильный размах	2,55	0,09
Максимальное значение	6,48	0,23
Минимальное значение	0,41	0,01
Количество наблюдений	11	19

Содержание Б(а)П в донных отложениях центральной части Печорского моря было относительно невысоким и колебалось в диапазоне 0,41 – 6,48 мкг/кг сух. грунта (2007г) и 0,01 – 0,23 мкг/кг сух. грунта (2008г) (табл. 1). В 2008 г. в донных отложениях исследуемого района концентрации Б(а)П были гораздо ниже, чем в 2007г, что свидетельствует о снижении загрязнения. Тенденция к уменьшению загрязнения вод реки Печоры обусловлено ужесточением требований к охране природы при проведении геологоразведочных работ и другой хозяйственной деятельности, связанной с добычей, транспортировкой и переработкой нефти и нефтепродуктов.

Донные отложения прибрежной части Печорского моря

Дно исследуемого района на глубинах менее 20м покрыто желтовато-серым песком с гравием и галькой. В песке содержится значительное количество обломков и целых раковин моллюсков. С увеличением глубины песок сменяется илистым песком и песчаным илом. Содержание Б(а)П в донных отложениях прибрежной части Печорского моря дано в таблице 2.

Таблица 2

**Содержание бенз(а)пирена в донных отложениях прибрежной части Печорского моря за 2006 и 2007 гг.**

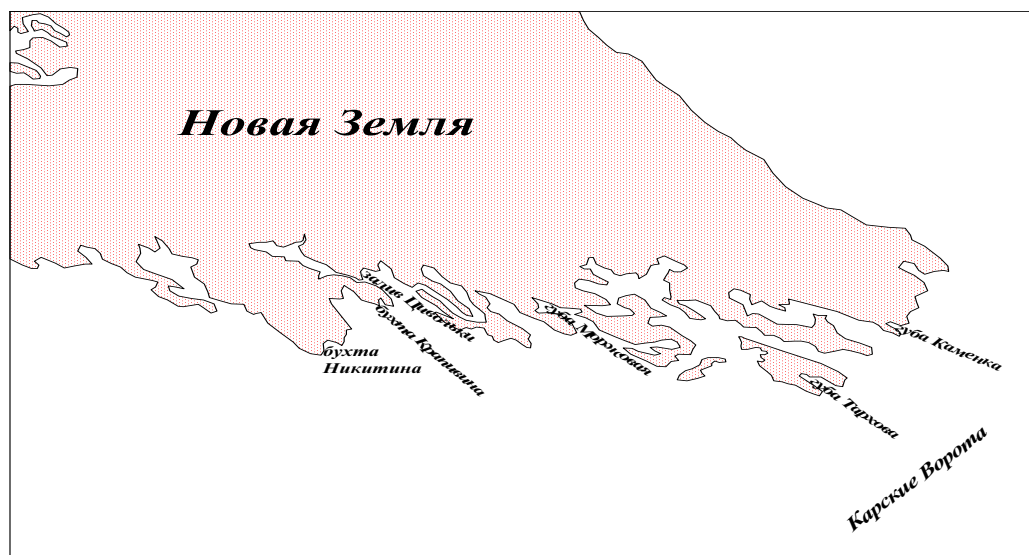
№ станции	глубина, м	тип грунта	содержание бенз(а)пирена, мкг/кг сухого грунта	
			2006г	2007г
1	22,0	ПИ, глина	0,79	0,06
2	19,0	ИП, ил вязкий	0,06	0,19
3	17,0	ИП, ил вязкий	0,10	0,18
4	15,0	ИП	0,05	0,22
5	11,0	жидкий ил на мелком песке	–	0,13
6	15,0	ИП	–	0,11
7	17,0	ИП, ил вязкий	0,08	0,13
8	19,0	ИП, ил вязкий	0,12	0,10
9	22,0	ПИ, глина	0,13	0,04
10	22,0	ПИ, глина	0,13	0,09
11	22,0	ПИ, глина	0,13	0,05
12	18,0	ИП, ил вязкий	0,08	0,11
13	17,0	ИП, глина	0,08	0,05
14	17,0	ИП	–	0,07

Содержание Б(а)П в донных отложениях на сетке станций в прибрежной части Печорского моря у п. Варандей было низким и не превышало допустимые нормы. Максимальное количество данного канцерогена было обнаружено на ст. 1 в 2006 году и на ст. 2 в 2007 году. Это можно объяснить тем, что станции 1 и 2 из всех исследуемых станций являются наиболее глубоководными, при

наличии придонных течений повышенная концентрация Б(а)П обуславливается повторным суспендированием взвешенных частиц, содержащих углеводород. Донный осадок представляет собой вязкий ил и глину, обладающие большей сорбционной поверхностью, а, следовательно, и способностью к удерживанию сорбированных веществ.

#### Донные отложения прибрежной части Новоземельского мелководья

Большое разнообразие форм рельефа дна исследуемой акватории (рис.) обуславливает наличие всех типов грунта (табл.3).



Прибрежная зона Новой Земли

Таблица 3

#### **Содержание бенз(а)пирена в донных отложениях прибрежной зоны Новой земли**

Район исследования	Количество измерений	Тип грунта	Среднее содержание Б(а)П, мкг/кг сухого грунта	Предел колебаний Б(а)П, мкг/кг сухого грунта
Бухта Никитина	4	песок, галька, валун	0,16	0,09–0,27
Бухта Крапивина	2	Мелкозернистый песок	0,23	0,15–0,30
Залив Цивольки	5	глина, ил	0,76	0,14–1,65
Губа Моржовая	9	глина, галька, валун	1,60	0,07–4,00
Губа Тарховая	5	глина, галька	0,75	0,10–2,01
Губа Каменка	5	илистый песок	0,16	0,09–0,23

Как показали исследования, загрязненность донных отложений Б(а)П зависит от сорбционной способности, обусловленной составом (механическим, химико-минералогическим) и физическими свойствами донных отложений. Из таблицы видно, что содержание определяемого канцерогена в донных отложениях уменьшается от глинистых илов к мелкозернистому песку. Концентрации Б(а)П не высоки и не превышают предельно допустимое значение концентрации Б(а)П, установленной для почв. (ПДК составляет 20 мкг/кг).

#### **Выводы**

Анализ полученных нами данных по содержанию Б(а)П в донных отложениях юго-восточного района Баренцева моря показал, что уровень загрязнения исследуемого района данным канцерогеном в целом следует признать относительно низким, поскольку полученные данные не превышают предельно допустимые значения концентраций Б(а)П, установленных СанПиНом (ПДК 20мкг/кг).

Максимальные концентрации Б(а)П наблюдались в грунтах, отобранных в непосредственной близости к акваториям портов, а также в районах, граничащими с зонами ярко выраженного техногенного воздействия.

Наибольший потенциал к накоплению Б(а)П отмечается на иловых отложениях, наименьший – для галечно-гравийных песков и мелкозернистого песка. Илистые же грунты весьма подвержены размыву, и в зоне эрозионного воздействия, распространяющегося до дна, или на участках, где могут возникать сильные течения, значительное загрязнение донных осадков обычно не наблюдается.

В исследуемых районах по мере удаления от берега содержание определяемого канцерогена снижается. На общем фоне снижения загрязненности донных отложений выделяются отдельные глубоководные участки с более высоким содержанием. К ним относятся депрессионные участки рельефа дна: места скопления загрязненных веществ и районы свалки грунта. В первом случае это связано с общим направлением сноса осадков в пониженные участки рельефа дна, во втором – с непосредственным сбросом грунтов, содержащих Б(а)П.

#### **Литература**

- Герлах Себастьян А., 1985. Загрязнение морей. Диагноз и терапия. Л.: Гидрометеиздат. 263 с.
- Ильницкий А. П., Виноградов В. Н., Рябчун В. К. и др., 1979. Опыт ретроспективного изучения канцерогенного углеводорода бенз(а)пирена в биосфере // ДАН АН СССР. Т. 245, №1. С. 254 -257.
- Методика ПНД Ф 16.1:2:2:3.39-03, 2007. Методика выполнения измерений массовой доли бенз(а)пирена в пробах почв, грунтов, твердых отходов, донных отложений методом ВЭЖХ с использованием жидкостного хроматографа «Люмахром». – М.:30 с.
- Миронов О.Г., 2000. Биологические проблемы нефтяного загрязнения морей // Гидробиол. журн. Т. 36, №1. С.82–96.
- Шлыгин И.А. и др., 1983. Исследование процессов при сбросе отходов в море. Л.: Гидрометиздат. 149 с.

### **ABOUT DIRTINESS THE BOTTOM SEDIMENTS OF SOUTHEAST AREA BARENTSEVA OF A SEA WITH BENZ(A)PIREN**

**Е.А. Muravyeva**

Northern Branch of PINRO, Arkhangelsk, Russia  
e-mail: muravyeva@sevpinro.ru

During a self-cleaning of a marine environment from hydrocarbons the significant role belongs to bottom sediments.

The material for the investigation of benz(a)piren content included were assays of the bottom sediments selected on a grid of stations of southeast area Barentseva of a sea.

The estimation of benz(a)piren was carried out by the VEZH metod with the use of the fluid analyzer «Fluorat-02» as a fluorimetric detector.

Analysis of the data received by us under the contents benz(a)piren in bottom sediments of southeast area Barentseva of a sea has shown, that as a whole it is necessary to recognize a level of pollution of probed area the given cancerogene rather low as the received data Would not exceed marginal values of concentrations benz(a)piren (maximum concentration limit of 20mk/kg).

### **ОБ УНИФИКАЦИИ РАСЧЁТА КОЭФФИЦИЕНТА УПИТАННОСТИ У ЛОСОСЕВЫХ РЫБ**

**И.Г. Мурза, О.Л. Христофоров**

Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия  
e-mail: bigfish@OC4414.spb.edu

При изучении энергетических ресурсов организма различных животных в периоды нагула, зимовки, миграций и т.д. наиболее точную информацию даёт определение содержания липидов, белков и углеводов. Вместе с тем, при отсутствии условий для выполнения лабораторных анализов и в случаях, допускающих только морфологическую оценку, полезна также характеристика экстерьера с вычислением показателей, называемых «упитанностью» – «condition factor», «относительным весом» – «length/weight index» (Benn, 1971; Jakob et al., 1996; Hayes, Shonkwiler, 2001; Stevenson, Woods, 2006; и др.), либо «тяжеловесностью» – «ponderal index» (Lagler et al., 1977; Weatherly, Rogers, 1978). В работах на рыбах эти индексы позволяют оценить размеры по навескам, либо вес в разном возрасте на основе линейных показателей, получаемых в ре-

зультате обратных расчислений роста по чешуе. Методы расчета зависимости между линейными и весовыми показателями у представителей этой группы низших позвоночных многие десятилетия обсуждаются в литературе (Морозов, Дубровская, 1951; Носков, 1956; Дадилян, 1967; Ricker, 1975; Гершанович и др., 1984; Bolger, Connolly, 1989; Cone, 1989; Blackwell et al., 2000; Hansen, Nate, 2005). Одним из первых математическую формулу для расчёта веса рыб по длине их тела предложил Х. Спенсер (Spencer, 1898):  $w = ql^3$ , где,  $w$  – вес,  $l$  – длина,  $q$  – константа, основанная на объёме и специфическом удельном весе. Так как в условиях промысла определение объёма и удельного веса рыб оказалось неудобным, большее практическое применение нашла формула Т.В. Фультона (Fulton, 1902):  $k = w/l^3$ , в которой  $k$  – коэффициент упитанности,  $w$  – общий вес тела в граммах,  $l$  – длина тела в мм. Позднее эту формулу модифицировали:  $k = w100/l^3$ , где,  $w$  – общий вес рыбы в граммах;  $l$  – длина рыбы в см. Ф.Н. Кларк (Clark, 1928) предложила использовать в формуле Фультона вес рыбы без внутренностей, не имеющих отношения к упитанности. Т.В. Фултон (Fulton, 1902, 1904) и другие исследователи отмечали, что зависимость веса рыб от длины не остаётся постоянной в течение жизни, то есть их рост носит аллометрический характер. С учётом этого, Дж. С. Хаксли (Huxley, 1924) ввёл уравнение:  $w = ql^n$ , в котором вместо кубической функции использовал переменную экспоненту ( $n$ ). Е. Д. Ле Крен (Le Cren, 1951), также с учётом аллометрического роста рыб, разработал относительный коэффициент упитанности:  $k = w/l^b$ , где  $b$  – некая экспонента силы связи между  $l$  и  $w$ , обеспечивающая наилучшее совпадение предсказанных по формуле значений веса и длины с их реальными значениями для конкретных популяций. Близкий подход использован В. Н. Ивановым (1988):  $a^n = w/l$ , где  $a$  – упитанность,  $w$  – вес,  $l$  – длина,  $n$  – показатель степени, определяемый методом подгонки. Предпринимались также попытки выразить зависимость между весом и длиной тела рыб более сложным уравнением множественной регрессии (Doyon et al., 1988). В.А. Амосов (1956) предлагал оценивать вместо упитанности «индекс удельной вальковатости», учитывавший высоту тела и размер головы. Н.Е. Сальников и Д.Н. Кравченко (1978) для определения упитанности измеряли также высоту и обхват наиболее утолщенной части тела рыб. Дж.М. Хамфриз с соавторами (Humphries et al., 1981) разработали схему, согласно которой тело рыб относительно равномерно было покрыто сетью из пучков линий, проведённых между определёнными точками. Такая сеть измерений позволила регистрировать даже небольшие изменения экстерьера в горизонтальной и вертикальной плоскостях (Strauss, Bookstein, 1982). М.Г. Покстон и Г.Т. Голдсворси (Poxton, Goldsworthy, 1987) для определения веса предложили уравнение:  $w = qs^n$ , в котором, вместо длины  $l$ , использовали площадь проекции туловища ( $s$ ). С развитием современной аквакультуры, ориентированной на содержание рыб в больших сетчатых садках, особую актуальность приобрела дистанционная оценка их размерно-весовых показателей бесконтактными методами, так как позволила избегать стресса, обусловленного хэндлингом. Один из таких методов основан на применении подводных стереокамер, способных получать изображения рыб, проходящих через рамку, установленную в выростной ёмкости. Эти изображения используют для двухмерных измерений, а, затем, расчётов весовых показателей и биомассы рыб (Ruff et al., 1994), в том числе лососевых (Beddow, Ross, 1996). Разработаны также гидроакустические методы определения размеров и веса рыб по резонансу от их плавательного пузыря (Løvik, 1986; Dunn, Dalland, 1993).

Несмотря на ряд преимуществ, технически и/или математически сложные методы установления зависимости между длиной и весом рыб, оценки их упитанности не всегда доступны и удобны при выполнении рутинных работ в полевых, а также производственных условиях. В связи с этим, не утратил значения и продолжает широко применяться, например, в лососеводстве, расчёт коэффициента упитанности ( $k$ ) по модифицированной формуле Фультона. Ситуация аналогична таковой в международной медицинской практике, где остаётся общепринятым такой простой показатель упитанности, как BMI – body mass index (Stevenson, Woods, 2006). В пользу целесообразности использования коэффициента упитанности при исследованиях лососевых рыб свидетельствует положительная связь величины этого показателя с содержанием липидов у пестряток, смолтов (Christensen, 1961; Farmer et al., 1978; Herbingier, Friars, 1991) и нагуливающих в море особей (Thurrow, 1962). Коэффициент упитанности рассматривается в качестве одного из показателей смолтификации (Hoar, 1989). Снижение его значений у смолтов обнаруживает корреляцию с повышением активности  $Na^+$ ,  $K^+$  АТФ-азы (Arnesen et al., 2003; Sundell et al., 2003) и уровней  $T_4$  (Virtanen, Soivo, 1985; Fagan et al., 2003). Очевидно, что получение сопоставимых значений  $k$  различными исследователями возможно только при единообразной методологии расчета этого показателя. Между тем, унификация осложняется вопросом: какую длину использовать? Т. В. Фултон (Fulton, 1902), работавший с нелососевыми рыбами, предлагал измерять промысловую длину, но в исследованиях на лососевых к началу 20-го века в ряде стран сложились специализированные системы промеров. В Швеции, Дании, Германии, Польше и Латвии пользовались зоологической длиной. Американцы проводили измерения лосо-

сей до конца позвоночного столба, а в Англии, Шотландии, Ирландии, Финляндии и России под длиной всего тела или просто длиной лосося подразумевали длину от конца рыла до конца средних лучей хвостового плавника (fork length), предложенную Ф. А. Смиттом (Smitt, 1886). Международная конференция, состоявшаяся в 1933 г., постановила ввести измерение длины тела лососевых рыб по Смитту в общую практику (см. Rapports et process-verbaux, XCI, 1934, P.6). С этого времени для большинства «лососевиков» методология расчета  $k$  у представителей этой группы рыб стала сама собой разумеющейся. Например, Н.В. Европейцева (1957) приводит данные о длине молоди лосося до развилки и коэффициенте упитанности (С. 142). В «Инструкции по разведению атлантического лосося» (1979) расчёт значений  $k$  у разных возрастных групп молоди (Табл. 10 и С. 76) не поясняется, но в публикации одного из её авторов (Лейзерович, 1976) сообщается, что при оценке соотношения весового и линейного роста у лосося измеряют длину тела по Смитту. Аналогично, в словаре по вопросам рыболовства и водной биологии В.Е. Рикера (Ricker, 1973), со ссылкой на Р.С. Семко, изучавшего тихоокеанских лососей, даётся следующее определение коэффициента упитанности: Fulton's condition factor: whole weight of body (in grams), divided by length cubed (fork length in centimeters), the whole multiplied by 100 (С. 262). И.Ф. Правдин в «Руководстве по изучению рыб» (1966), по-видимому, не придерживался решений указанной выше Международной конференции, так как предлагал оценивать упитанность (в том числе у горбуши) по коэффициенту Фультона, рассчитываемому с использованием длины от начала рыла до конца чешуйного покрова, то есть промысловой (С.219). Выполненный нами анализ методов расчёта  $k$  у лососевых рыб в обширной отечественной и зарубежной литературе, а также в актах оценки природной и выращиваемой на лососевых рыбоводных заводах (р/з) молоди показал, что есть примеры расчётов на основе измерений длины и зоологической и промысловой и по Смитту. Более чем в 80% случаев используемая длина не оговаривается. При этом средние значения  $k$  у молоди атлантического лосося указываются и на уровне 1,5 – 1,6 и в два раза ниже: например, согласно Э. Виртанену с соавторами (1992), у смолтов из р. Симойоки –  $0,697 \pm 0,007$ . Использование разных промеров длины для расчёта  $k$ , как и отсутствие информации о том, какая длина измерена, исключает возможность сравнения данных разных исследователей между собой, а также установления нормативов. Учитывая изложенные выше аргументы, считаем необходимым унифицировать расчёт коэффициента упитанности у лососевых рыб, применяя формулу:  $k=w/100/l^3$ , где  $w$  – общий вес рыбы, в граммах;  $l$  – длина по Смитту в сантиметрах. Этот показатель, по нашему мнению, правильней называть не «коэффициентом упитанности по Фультону», а «стандартным коэффициентом упитанности лососевых рыб». По своей чувствительности он незначительно уступает  $k$ , рассчитываемому по отношению к промысловой длине, так как часть измерения приходится на средние лучи хвостового плавника, не отражающие упитанность, зато значения его ближе к единице. На примере данных, полученных нами при анализе молоди лосося, выращиваемой на р/з Ленинградской области (Таблица), можно видеть, что величина  $k$  в период накопления наибольших энергетических ресурсов осенью превышает единицу, ко времени выпуска серебрищихся особей весной она приближается к ней, а в период завершения смолтификации в заливе оказывается ниже этого уровня. У карликовых самцов увеличение  $k$  при половом созревании происходит на фоне снижения содержания липидов, поэтому не отражает изменений энергетических ресурсов организма.

#### Динамика средних значений $k$ у ювенильных особей атлантического лосося заводского происхождения в процессе смолтификации (в группах от 25 до 100 рыб)

Группа рыб	Невский р/з и Финский залив		Нарвский р/з и Нарвский залив	
	Самки	Самцы	Самки	Самцы
1+ Октябрь (р/з)	$1,27 \pm 0,021$	$1,36 \pm 0,022$	$1,17 \pm 0,013$	$1,18 \pm 0,048$
2 Апрель (выпуск)	$1,07 \pm 0,027$	$1,09 \pm 0,031$	$0,99 \pm 0,012$	$0,99 \pm 0,015$
2+ Май-июнь (залив)	$0,90 \pm 0,015$	$0,90 \pm 0,012$	$0,96 \pm 0,024$	$0,97 \pm 0,018$

#### Литература

- Амосов В.А. 1956. Основные экстерьерные показатели у рыб // Вопр. ихтиологии. Вып.6. С. 46–74.
- Виртанен Э., Форсман Л., Сойвио А., Сёдерхольм-Тана Л. 1992. Смолтификация лосося *Salmo salar* L., невского происхождения и критерии физиологического качества заводских смолтов // Сб. науч. трудов ГосНИИ-ОРХ. Вып. 297. С. 28–43.
- Гершанович А.Д., Маркевич Н.Б., Дергалева Ж.Т. 1984. Об использовании коэффициента упитанности в ихтиологических исследованиях // Вопр. ихтиологии. Т.24. Вып. 5. С. 740–752.
- Дадилян М.Г. 1967. Об обеспеченности кормом и коэффициенте упитанности как её критерии // Вопр. ихтиологии, Т. 7. Вып. 2. С. 338–347.



- Европейцева Н.В. 1957. Переход в покатное состояние и скат молоди лососей. Учёные записки ЛГУ. № 228. Сер. биол. Вып. 44. С. 117–154.
- Иванков В.И. 1988. О методике определения упитанности рыб // Биол. моря. № 1. С. 59–60.
- Инструкция по разведению атлантического лосося. 1979. Составители: Яндовская Н.И., Р.В. Казаков, Х.А. Лейзерович. Л. 95 с.
- Лейзерович Х.А. 1976. Морфобиологические особенности молоди атлантического лосося // Лососевидные рыбы. Л. С. 66 – 67.
- Морозов А.В., Дубровская К.П. 1951. О коэффициентах упитанности рыб // Зоол. журн. Т. 30, вып. 3. С. 267–272.
- Носков А.С. 1956. Об определении упитанности рыб // Тр. Балт. н.-и. ин-та морск. рыбн. хоз-ва и океаногр. Вып. 2. С. 90–95.
- Правдин И.Ф. 1966. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). М.: «Пищевая промышленность». 376 с.
- Сальников Н.Е., Кравченко Д.Н. 1978. К методике определения упитанности рыб // Рыб. хоз-во. № 6. С. 16–18.
- Arnesen A. M., Toften H., Agustsson Th., Stefansson S.O., Handeland S.O., Björnsson B. Th., 2003. Osmoregulation, feed intake, growth and growth hormone levels in 0+ Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) transferred to seawater at different stages of smolt development // Aquaculture. V. 222. P.167–187.
- Beddow T.A., Ross L.G. 1996. Predicting biomass of Atlantic salmon from morphometric lateral measurements // J. Fish Biol. V.49, N3. P. 469 – 482.
- Benn R.T. 1971. Some mathematic properties of weight-for-height indices uses as measures of adiposity // Br. J. Prev. Soc. Med. V. 25. P. 329–343.
- Blackwell B.G., Brown M.L., Willis D.W. 2000. Relative weight ( $W_r$ ) status and current use in fisheries assessment and management // Rev Fish Sci. V.8, N1. P. 1–44.
- Bolger T., Connolly P.L. 1989. The selection of suitable indices for the measurement and analysis of fish condition // J. Fish Biol. V.34, N2. P. 171–182.
- Christensens O. 1961. Preliminary results of an investigation on the food of Baltic salmon. ICES. Doc. C.M.1961. N93.
- Clark F.N. 1928. The weight-length relationship of the california sardine (*Sardina caerulea*) at San Pedro // Fish. Bull. U.S. N 12. P. 5–59.
- Cone R.S. 1989. The need to reconsider the use of condition indices in fishery science // Trans. Am. Fish. Soc. V.118, N5. P. 510–514.
- Doyon J.-F., Downing J.A., Magnin E. 1988. Variation in the condition of northern pike, *Esox lucius* // Canad. J. Fish. Aquat. Sci. V.45. P. 479–483.
- Dunn M., Dalland K. 1993. Observing behaviour and growth using Simrad FCM 160 fish cage monitoring system // Fish Farming Technology / Eds. H. Reinertsen, L.A. Dahle, L. Jørgensen, K. Tvinnereim. Rotterdam: Balkema. P. 269–274.
- Fagan M.S., O'Byrne-Ring N., Ryan R., Cotter D., Whelan K., Mac Evilly U. 2003. A biochemical study of mucus lysozyme, proteins and plasma thyroxine of Atlantic salmon (*Salmo salar*) during smoltification // Aquaculture. V. 222. P. 287–300.
- Farmer G.J., Ritter J.A., Ashfield D. 1978. Seawater adaptation and parr-smolt transformation of juvenile Atlantic salmon // J. Fish. Res. Board Canada. V. 35, N. 1. P. 93 – 100.
- Fulton T.W. 1902. Rate of growth of sea fish // Fish. Scotl. Sci. Invest. Report. V. 20, N 3. P. 226–334.
- Fulton T.W. 1904. The rate of growth of fishes // Annu. Rept. Fish. Board Scotland. V.22, N3. P. 141–241.
- Hansen M.J., Nate N.A. 2005. A method for correcting the relative weight ( $W_r$ ) index for seasonal patterns in relative condition ( $K_n$ ) with length as applied to walleye in Wisconsin // N. Amer. J. Fish. Manag. V. 25. P. 1256–1262.
- Hayes J.P., Shonkwiler J.S. 2001. Morphometric indicators of body condition: useful or wishful thinking? // Body composition analysis of animals: a handbook of non-destructive methods / Ed. J.R. Speakman. Cambridge. Cambridge Univ. Press. P. 8–38.
- Herbinger C.M., Friars G.W. 1991. Correlation between condition factor and total lipid content in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., parr // J. Aquacult. Fish. Manag. V. 22, N4. P. 527–529.
- Hoar W.S. 1988. The physiology of smolting salmonids / Eds. W.S. Hoar, D. J. Randall. Fish Physiology, V. XI, B. New York, Acad. Press. P. 275–343.
- Humphries J.M., Bookstein F.L., Chernoff B., Smith G.R., Elder R.L., Poss S.G. 1981. Multivariate discrimination by shape in relation to size // Systematic Zoology. V.30. P. 291–308.
- Huxley J.S. 1924. Constant differential growth – ratios and their significance // Nature. V. 114. P.895–896.
- Lagler K.F., Baroach J.E., Miller R.R., Passino O.R.M. 1977. Ichthyology. Wiley. New York, NY. 506 p.
- Le Cren E.D. 1951. The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*) // J. Anim. Ecol. V. 20, N2. P. 201–219.

- Løvik A. 1986. Biomass estimation in aquaculture facilities // Automation and data processing in aquaculture / Ed. Balchen J.G. Oxford: Pergamon Press, P. 171–175.
- Poxton M.G., Goldsworthy G.T. 1987. The remote estimation of weight and growth in turbot using image analysis // Automation and Data Processing in Aquaculture / Ed. J.G. Balchen. Oxford: Pergamon Press. P. 163–170.
- Ruff B.P., Marchant J.A., Frost A.R. 1994. A stereo image analysis system for monitoring size distributions and biomass of farmed fish // Measures for Success / Eds. P. Kestemont, J. Muir, F. Sevila, P. Williot. CEMAGREF. P. 157–162.
- Ricker W.E. 1973. Russian-English Dictionary for Students of Fisheries and Aquatic Biology // Bull. Fish. Res. Board Canada. V. 183. 428 p.
- Ricker W. E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations // Bull. Fish. Res. Board Canada. V 192. 382 p.
- Smitt, F. A. 1886. Kritisk förteckning öfver de i Riksmuseum befintliga Salmonider. Kongl. Svenska Vet. Akad. Handlingar, V. 21, N 8. P. 1–290.
- Spencer H. 1898. The Principles of Biology. Vol. 2. London: Willliams, Norgate.
- Strauss R.E., Bookstain F.L. 1982. The truss: body form reconstruction in morphometrics // Systematic Zool. V31. P. 113–135.
- Stevenson R. D., Woods W.A., Jr. 2006. Condition indices for conservation: new uses for evolving tools // Integr. Comp. Biol. V. 46, N6. P. 1169–1190.
- Sundella K., Jutfelta F., Agustsson Th., Olsenc R.-E., Sandbloma E., Hansen T., Björnsson B. Th. 2003. Intestinal transport mechanisms and plasma cortisol levels during normal and out-of-season parr-smolt transformation of Atlantic salmon, *Salmo salar* // Aquaculture. V. 222. P. 265–285
- Thurow F. 1962. Über Qualitätsschwankungen und die Bedeutung der Fettspeicherung beim Ostseelachs (*Salmo salar*) // Arch. Fisch. Wiss. V.13, N1/2. S. 52–64.
- Virtanen E., Soivo A. 1985. The patterns of T3, T4, cortisol and Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup>-ATPase during smoltification of hatchery-reared *Salmo salar* and comparison with wild smolts // Aquaculture V. 45. P. 97–109.
- Weatherly A. H., S.C. Rogers. 1978. Some aspects of age and growth // Ecology of freshwater fish production / Ed. S. D. Gerking. Blackwell Sci. Publ. Oxford. Chap. 3.

## TO UNIFORMITY OF METHODOLOGY OF CONDITION FACTOR CALCULATION IN SALMONID FISHES

**I.G. Murza, O.L. Christoforov**

Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia  
e-mail: bigfish@OC4414.spb.edu

Despite of a present-day progress in quantification of lipids, proteins and carbohydrates that characterize energetic resources of various animals most exactly, an evaluation of ex-terrier by indexes named «condition factor», «relative weight», «length/weight an index» or «ponderousness» continues to be useful approach also. Unfortunately, absence of uniformity in calculation of the same indexes by different researchers results in incomparability of their data. The reasons for calculation of a condition factor in salmonid fishes according to the formula:  $k = w / l^3$  (where  $w$  – total body weight in grams;  $l$  – fork length in centimeters) are presented in this paper. «Standard condition factor of salmonid fishes» seems to be more suitable name for such index than «T.V. Fulton's condition factor».

## ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ЭПИТЕЛИОЦИТОВ КАНАЛЬЦЕВ ТУЛОВИЩНОЙ ПОЧКИ КОСТИСТЫХ РЫБ И ИХ ВЗАИМОСВЯЗЬ С ВЫПОЛНЯЕМЫМИ ФУНКЦИЯМИ

**Е. А. Назарова**

Учреждение Российской академии наук Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН,  
п. Борок., Ярославская обл., Россия  
e-mail: katarinum@mail.ru

### Введение

Мезонефрос рыб – это уникальный многофункциональный орган, выполняющий выведение продуктов обмена, поддерживающий гомеостаз, осуществляющий защитные функции организма [8,10]. К настоящему времени, как в отечественной, так и зарубежной литературе показано, что степень развития почек – от высшего совершенства до крайней вторичной деградации различных эле-

ментов – отличаются у разных систематических и экологических групп костистых рыб [1,5,8,10,16]. Вместе с тем, многие вопросы, касающиеся видовых особенностей ультраструктуры этих органов, зависимости их от особенностей среды обитания, обмена веществ и т.д. у рыб практически не исследованы. В связи с этим целью данного исследования было изучить видовые особенности ультраструктуры клеток мезонефроса пресноводных и морских костистых рыб на примере некоторых представителей отрядов Карпообразные и Окунеобразные.

### Материалы и методы исследования

Объектом исследования послужили особи 7 видов карпообразных: усатый голец (*Barbatula barbatula* (L.)), серебряный карась (*Carassius auratus* (L.)), лещ (*Abramis brama* (L.)), линь (*Tinca tinca* (L.)), плотва (*Rutilus rutilus* (L.)), синец (*Abramis ballerus* (L.)), обыкновенная щиповка (*Cobitis taenia* L.) и 5 видов окунеобразных рыб: пресноводных – волжский судак, берш (*Stizostedion volgense* (Gmelin)), обыкновенный судак (*Stizostedion lucioperca* (L.)), речной окунь (*Perca fluviatilis* L.) и морских – средиземноморская ставрида (*Trachurus mediterraneus* (Staindachner)), морской карась (*Diplodus annularis* (L.)). Рыб отлавливали тралом, неводом и сачком в летне – осенний период 2005 – 2006 гг. в Рыбинском водохранилище, реках Ильд и Сутка и Севастопольской бухте Черного моря.

Кусочки туловищной почки объемом 1 мм<sup>3</sup> подвергали двойной фиксации в 2,5% глютаральдегиде на 0,1М фосфатном буфере и 1% четырехокси осмия (OsO<sub>4</sub>), на том же буфере. Затем материал промывали в промывочном буфере, обезжизняли в спиртах возрастающей концентрации. Затем пропитывали в смеси ацетона и смолы, в различных соотношениях. Завершали данный процесс пропиткой ткани чистой смолой и полимеризацией блоков [9]. Ультратонкие срезы толщиной 200–300 Å приготавливали на микротоме LKB 8800, контрастировали 0,2% водными растворами уранилацетата и цитрата свинца, и просматривали под трансмиссионным электронным микроскопом JEM 100С.

### Результаты и обсуждение

Электронная микроскопия позволила детально изучить тонкую структуру основных отделов нефрона. Стенка нефрона была построена из однослойного эпителия, клетки которого (в зависимости от выполняемой функции) были различны в разных отделах нефрона.

**Эпителиоциты проксимального участка канальца.** Анализ ультраструктуры эпителиальных клеток, выстилающих этот участок канальца, показал, что эпителиоциты можно было разделить на 2 типа. **Эпителиоциты I типа** образовывали начало проксимального канальца. Размеры клеток колебались незначительно, преобладали эпителиоциты длиной 13–17 мкм. Самые крупные клетки были отмечены у судака (18,84x14,32 мкм), эпителиоциты наименьших размеров у морского карася (11,69x9,32 мкм). Это были вытянутые, пирамидальной формы клетки, плотно прилегающие друг к другу. Ядра клеток были округлой формы, располагались в базальной части клеток, имели 1–2 ядрышка. Гетерохроматина мало, большая часть его располагалась вдоль ядерной мембраны, между ядерными порами. Зернистая цитоплазма содержала большое количество митохондрий, которые у большинства видов в базальной части клетки располагались строго вдоль ее оси. Менее упорядочено митохондрии лежали в апикальной части клеток. Следует отметить, что у морских видов рыб количество митохондрий было больше, чем у пресноводных, этот показатель в некоторых случаях достигал разницы в 2–6 раз. Внутри группы пресноводных видов количество данных органелл в среднем составляло 14 шт. в клетке, исключение составили эпителиоциты щиповки, количество митохондрий в клетках которой достигало 38 шт. Возможно большое количество этих органелл в клетках щиповки компенсировало маленькие размеры органелл у этого вида. Длина митохондрий у большинства видов колебалась от 0,9 до 1,5 мкм. Самые крупные митохондрии были обнаружены в эпителиоцитах окуня, самые мелкие – в эпителиоцитах щиповки. От базальной части, вдоль клеток тянулись многочисленные складки клеточной мембраны, которые переходили в каналы гладкого эндоплазматического ретикулума. Такие складки были характерны для всех типов эпителиоцитов всех отделов канальца. У морских видов клеточная мембрана образовывала сложные переплетения. Имелись лизосомы и крупные электронно-плотные, иногда электронно-прозрачные секреторные гранулы, характерные для этого участка нефрона. В околоядерной цитоплазме некоторых клеток хорошо был различим аппарат Гольджи. Размеры секреторных гранул варьировали незначительно. При этом по количеству гранул в клетке виды разделялись на 2 группы: 1 группа (13–24 шт.), в нее входили лещ, линь, синец; 2 группа (2–5 шт.), включала остальные виды. В апикальной части кле-

ток на границе со щеточной каемкой располагалась хорошо развитая зона эндоцитоза, наибольших значений она достигала у судака (7,60 мкм), наименьших – у плотвы (1,84 мкм). Данная зона характеризовалась наличием тубуло-везикулярной системой. У всех изученных видов рыб тубуло-везикулярная система была образована большим числом микропузырьков и короткими сегментами изогнутых тубул без анастомозов, между которыми локализовались микрофиламенты. Щеточная каемка была наиболее высокая для этого типа эпителиоцитов. Она состояла из большого числа микроресничек и микроворсинок, обращенных в просвет канальца. В эпителиоцитах I типа, всех рассмотренных в нашей работе пресноводных видов, толщина микроресничек больше таковой микроворсинок. Исключение составляли средиземноморская ставрида и морской карась, у этих видов рыб микроворсинки были толще микроресничек.

**Эпителиоциты II типа** – это клетки, которые по плану строения были схожи с клетками I типа, но меньшие таковых по высоте. Внутри рассматриваемого типа эпителиоцитов размеры варьировали незначительно, у всех исследованных видов длина колебалась от 9 до 13 мкм. Наименьшие размеры эпителиоцитов были обнаружены в мезонефросе плотвы (8,95x3,60 мкм), наибольшие – в почках синца (13,09x9,58 мкм). У пресноводных видов рыб, ядра эпителиоцитов II типа, как и в клетках I типа, были округлой формы, многие из них располагались в базальной части клеток и только некоторые были смещены к центральной части. У морских видов напротив – большинство располагалось в центральной части клеток. Гетерохроматина мало, большая часть его располагалась вдоль ядерной мембраны, между ядерными порами. Цитоплазма была менее зернистая, содержала большое количество митохондрий, число которых, как и в клетках I типа, превышало в эпителиоцитах морских рыб по сравнению с пресноводными. При этом внутри группы пресноводных видов среднее количество митохондрий в клетке составило 20 шт., что превышало таковое значение в эпителиоцитах I типа. Количество митохондрий в клетках щиповки, достигало 33 шт. Длина митохондрий у большинства видов колебалась от 0,7 до 1,2 мкм. Лизосомы, по сравнению с клетками I типа, встречались реже. Показательным признаком эпителиоцитов II типа являлось отсутствие в цитоплазме специфичных гранул. Зона эндоцитоза была развита слабее, по сравнению с клетками I типа. Хотя четко просматривалось наличие тубуло-везикулярной системы. Щеточная каемка была менее высокая по сравнению с клетками I типа. Тем не менее, в ее состав входили как микрореснички, так и микроворсинки. Но по сравнению с клетками I типа толщина микроворсинок превосходила таковую у всех видов исследуемых рыб.

**Эпителиоциты промежуточного участка канала** были обнаружены в нефроне синца и судака. По своему строению данные эпителиоциты наиболее отличались от рассматриваемых выше типов клеток. Это были самые низкие клетки, в базальной части которых располагались ядра. Следует отметить, что эпителиоциты I типа синца были более чем в 1,5 раза выше по сравнению с клетками промежуточного участка этого вида, а для судака эта разность превышала 2 раза. Структура ядер в данных эпителиоцитах была подобна таковой клеток I и II типов. Цитоплазма светлая, содержала относительно много свободных рибосом, крупные митохондрии, с хорошо развитыми кристами, которые были ориентированы вдоль оси клеток. Сформированная зона эндоцитоза отсутствовала. Изредка в цитоплазме встречались везикулы и микрофиламенты. Аппарат Гольджи и лизосомы в клетках не выявлялись. Другой значительной особенностью клеток являлось почти ровная апикальная поверхность с очень редкими и короткими микроворсинками, о длине которых можно судить по длине щеточной каемки. По сравнению с выше рассмотренными группами эпителиоцитов щеточная каемка синца была короче более чем в 3 раза, щеточная каемка судака – более чем в 8 раз. Следует отметить, что диаметр микроворсинок превышал таковой у обоих рассматриваемых видов по сравнению с эпителиоцитами I, II типов. Микрореснички отсутствовали.

**Эпителиоциты дистального участка канала.** Дистальный каналец формировали высокие и очень широкие у основания клетки. Длина эпителиоцитов большинства исследованных видов варьировала от 14 до 18 мкм. Самые высокие эпителиоциты этого участка канала присутствовали в почках линя, самые короткие – в почках гольца. Ядро большинства клеток занимало центральное положение в клетке, иногда было смещено к базальной части. Гетерохроматин был сконцентрирован, как на периферии ядра между ядерными порами, так и диффузно по всей поверхности. Для цитоплазмы было характерно наличие свободных рибосом, хорошо развитого гладкого эндоплазматического ретикулума, большого количества крупных митохондрий, расположенных по всей длине клетки. Следует отметить, что митохондрии в эпителиоцитах дистального участка канала были

крупнее по сравнению с таковыми в проксимальном и промежуточном участках канала у всех исследованных видов. Исключение составили клетки синца и морского карася, размеры митохондрий в этих клетках были несколько меньше по сравнению с таковыми в эпителиоцитах I типа. Изредка в цитоплазме встречались лизосомы и Аппарат Гольджи, который располагался в околоядерной зоне цитоплазмы и отдельные каналы шероховатого эндоплазматического ретикулума. Кроме выше перечисленных органелл в цитоплазме эпителиоцитов морских видов на всем протяжении клеток было выявлено большое количество везикул. Зона эндоцитоза отсутствовала. Апикальная часть клеток образовывала лопостевидные цитоплазматические выросты, обращенные в просвет канальца.

Таким образом, проксимальный участок канала всех исследуемых особей был наиболее дифференцированный, здесь можно было выделить 2 типа клеток, отличающихся своей морфологией. Ранее Винниченко Л.Н. показала, что у гольца *Alvelinus alpinus* L., горбуши *Oncorhynchus goroscha* Walbaum, карпа *Cyprinus carpio* L. 3 типа эпителиоцитов, у линя *Tinca tinca* L. – 2 типа [2]. При этом в качестве критерия разделения эпителиоцитов на типы, автором были выбраны качественные признаки (расположение лизосом и митохондрий в клетке, цвет цитоплазмы, плотность секреторных гранул и т.д.), при этом не учитывались размерные характеристики клеток [2]. В нашей работе мы постарались выявить количественные признаки, по которым четко можно разделить типы эпителиоцитов. В результате исследования были выявлены следующие критерии, характеризующие различия клеточных типов внутри одного вида: 1. длина эпителиоцитов (клетки I типа выше таковых II типа); 2. длина щеточной каемки (клетки II типа образуют более короткую щеточную каемку, чем клетки I типа); 3. развитие зоны эндоцитоза (протяженность зоны у клеток I типа больше, чем у клеток II типа); 4. наличие секреторных гранул (клетки II типа данные органеллы не образуют).

Различия в размерных характеристиках для выше перечисленных структур у разных видов рыб, скорее всего, были связаны с видовой спецификой. Такие признаки как количество и плотность секреторных гранул и лизосом, положение митохондрий, плотность цитоплазмы, различные включения и т.д. были связаны не с особенностями морфологии различных типов эпителиоцитов, а с функционированием клеток одного типа в определенный момент времени.

Нет сомнений в особенностях функционирования эпителиоцитов различных типов в сегментах канала. Главное отличие эпителиоцитов I типа – наличие секреторных гранул. Это говорит о том, что именно в этом участке канала происходит реабсорбция белка путем пиноцитоза. В гранулах белок переваривается, и аминокислоты выделяются в цитоплазму. Функцию секреторных гранул так же связывают с транспортом  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$  [1,7,13,15]. Вторым обязательным мембранным компонентом для эпителиоцитов не только I, но и II типа является наличие тубуло-везикулярной системы, которая локализовалась в зоне эндоцитоза. Показано, что через тубуло-везикулярную систему у пресноводных рыб и морских видов транспортируются органические молекулы (в основном полисахариды), а так же различные ионы, кроме того, у морских рыб еще и большое количество мочевины [1,7,13]. Аналогично функционируют проксимальные канальцы млекопитающих, для которых показана полная реабсорбция глюкозы, витаминов, белков, микроэлементов, значительное количество ионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$  [4, 11, 15].

Обратное всасывание в проксимальном сегменте невозможно без различных насосов, которые располагаются в основном базальной части клеток [7,10,15]. Мембранные разрастания эпителиоцитов I и II типа проксимальных участков, скорее всего, необходимы для более эффективного функционирования данного механизма. Как уже было упомянуто ранее в проксимальных участках канальцев морских рыб кроме реабсорбции  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$  происходит активная секреция двухвалентных ионов, а иногда и  $\text{K}^+$ . Согласно гипотезе Ю. В. Наточина секреция  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , а так же фосфатов и сульфатов происходит по механизму ионного обмена на реабсорбируемый  $\text{Na}^+$  данный процесс осуществляется с помощью  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+/\text{Mg}^{2+}$  и  $\text{Cl}^-/\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$  АТФаз [10]. Можно предположить, что образование сложных мембранных переплетений у основания клеток и большое количество митохондрий, находящееся в непосредственной близости к этим образованиям в проксимальных сегментах ставриды и морского карася обусловлено формированием в них системы секреции двухвалентных ионов. Развитие гладкого эндоплазматического ретикулума на прямую связано с этим механизмом, так как этот органоид представляет собой молекулярную основу для работы насосов [3,7]. Перенос большого количества органических молекул, в том числе мочевины и большего, по сравнению с пресноводными рыбами, количества воды [1,7,13] обуславливает наличие большого числа везикул в цитоплазме эпителиоцитов проксимального участка канальца морских рыб.

Кроме реабсорбции клетки проксимального сегмента костистых рыб выполняют так же и экскреторную функцию. Эпителиоциты как пресноводных, так и морских рыб экскретируют креатинин, некоторые органические кислоты и чужеродные вещества [13]. Выполнение этой функции подтверждается большим количеством лизосом в эпителиоцитах как I, так и II типа. Особенно они многочисленны в клетках ставриды и морского карася.

Как уже было упомянуто ранее, большое количество митохондрий в клетках проксимального участка канальца, скорее всего, обусловлено тем, что для осуществления противогradientных сорбционных и секреторных процессов необходимо большое количество энергии. Следует отметить, что у ставриды и морского карася количество митохондрий больше, чем у пресноводных рыб. Это, скорее всего, связано с большей осмолярностью крови морских рыб по сравнению с пресноводными, а так же, возможно, с меньшим уровнем синтеза АТФ у пресноводных рыб по сравнению с морскими (как это было показано для хлоридных клеток жабр) [3,6,7,10].

Долгое время считалось, что щеточная каемка, характерная для всего проксимального участка канальца, сформирована по аналогии с млекопитающими и образована микроворсинками [1,2,10,12]. Но в нашей работе четко показано, что щеточная каемка, всех исследованных видов рыб, имеет в своем составе кроме микроворсинок – микрореснички, ультраструктура которых подобна таковой описанной для трахеи высших позвоночных [14,15].

Второй участок канальца у судака и синца был сформирован эпителиоцитами, которые имели сходные черты строения с эпителиоцитами промежуточного участка канала у некоторых лососеобразных видов [2]. Ранее в литературе упоминалось наличие этого участка канала у некоторых пресноводных костистых рыб и круглоротых [1,2,10,12,13].

Опираясь на данные литературы, а так же собственные результаты можно предположить, что промежуточный участок канала присутствует у всех видов пресноводных костистых рыб, но так как эти клетки ограничивают небольшой отрезок нефрона, то обнаружить и описать их крайне сложно. В связи с тем, что в цитоплазме клеток промежуточного участка канала практически не были представлены структуры, участвующие в реабсорбции и обработке органических веществ, количество органоидов, участвующих в секреторной деятельности клеток так же было незначительно, можно предположить, иную функцию данного типа клеток. Такая внутренняя структура клеток свидетельствует об аналогии этих клеток с клетками тонкого сегмента петли Генле нефронов теплокровных животных, основная функция которых проведение воды [2,14,15]. Специализация этих клеток у синца и судака не достигает уровня специализации клеток тонкого сегмента петли Генле в нефроне птиц и тем более в нефроне млекопитающих животных. В дальнейшем в филогенезе усовершенствование системы идет в направлении еще большего уплощения клеток, что дает возможность укорочения пути проходимого водой [2,14,15].

Эпителиоциты дистального участка канала ставриды и морского карася отличались от пресноводных представителей большим количеством везикул, распределенных по всей цитоплазме. Скорее всего, это связано с особенностями функционирования дистального сегмента. Как известно, этот участок играет важнейшую роль в регуляции объема выделяемой мочи [12,13]. У пресноводных рыб реабсорбция в этом участке канальца характеризуется тем, что клетки переносят меньшее количество ионов, чем в проксимальном участке, но против большего градиента концентрации, так как вода здесь практически не сорбируется [13]. Скорее всего, именно этот факт связан с наличием большего числа митохондрий эпителиоцитов дистального сегмента по сравнению с проксимальным. Большее количество митохондрий в дистальном участке канальца у ставриды и морского карася по сравнению с пресноводными особями мы так же связываем с большим осмотическим давлением крови морских рыб по сравнению с пресноводными [6,10]. У морских рыб факультативная реабсорбция воды в этом участке канальца выражена в большем количестве, чем у пресноводных. Кроме того, в дистальном сегменте  $K^+$  может не только реабсорбироваться, но и секретироваться [13]. Скорее всего, эти процессы связаны с наличием большого числа везикул в цитоплазме дистального участка канальца ставриды и морского карася.

Таким образом, выявленные особенности ультраструктуры эпителиоцитов основных отделов нефрона между пресноводными и морскими видами, отражают различия в ионной регуляции у данных видов рыб. Различия в размерных характеристиках каждого типа эпителиоцитов у разных видов имеют, по-видимому, видовую специфику, тогда как другие признаки (количество и плотность секреторных гранул и лизосом, положение митохондрий, плотность цитоплазмы, различные включения и.т.д.) связаны, скорее всего, не с особенностями морфологии различных типов эпителиоцитов, а со степенью функциональной активностью клеток.

### Литература

- Аmineva B. A., Yrzhombek A. A., 1984. Физиология рыб. М.: Легкая и пищевая промышленность. 200 с.
- Винниченко Л. Н., 1980. Сравнительная ультраструктура нефрона. Атлас. Л.: Наука. 136 с.
- Виноградов Г. А., 2000. Процессы ионной регуляции у пресноводных рыб и беспозвоночных. М.: Наука. 216 с.
- Гинецинский А. Г., 1964. Физиологические механизмы водно-солевого равновесия. М.-Л.: Наука. 426 с.
- Кауфман З. С., 1990. Эмбриология рыб. М.: ВО Агропромиздат. 272 с.
- Мартемьянов В. И., 1992. Содержание катионов в плазме, эритроцитах и мышечной ткани рыб Волжского плеса Рыбинского водохранилища // Журн. эволюц. биох. и физиол. Т. 28, № 5. С. 576–581.
- Матей В. Е., 1996. Жабры пресноводных костистых рыб: Морфофункциональная организация, адаптация, эволюция. СПб.: Наука. 204 с.
- Микряков В. Р., Балабанова Л. В., Заботкина Е. А., Лапирова Т. Б., Попов А. В., Силкина Н. И., 2001. Реакция иммунной системы рыб на загрязнение воды токсикантами и закисление среды. М.: Наука. 126 с.
- Миронов А. А., Комиссарчик Я. Ю., Миронов В. А., 1994. Методы электронной микроскопии в биологии и медицине. СПб.: Наука. 400 с.
- Наточин Ю. В., 1976. Ионрегулирующая функция почки. Л.: Наука. 268 с.
- Покровский В. М., Коротко Г. Ф., 1998. Физиология человека. В 2-х томах. М.: Медицина. Т. 2. 368 с.
- Пучков Н. В., 1941. Физиология рыб. М.: Пищепромиздат. 298 с.
- Смит Л. С., 1986. Введение в физиологию рыб. М.: Агропромиздат. 168 с.
- Улумбеков Э. Ю., Челышев Ю. А., 2002. Гистология. М.: ГЭОТАР-МЕД. 672 с.
- Хэм Ф., Кормак Д., 1983. Гистология. В 5 томах. М.: Мир. Т. 2. 120 с.
- Brown M.E., 1957. The physiology of fishes. New York: Academic press. V. 1. 447 p.

### FEATURES OF EPITHELIAL CELL STRUCTURE OF TRUNK KIDNEY IN BONY FISH AND THEIR RELATIONSHIP WITH THEIR FUNCTIONS.

E.A. Nazarova

Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Yaroslavl reg., Russia  
e-mail: katarinum@mail.ru

Fine structure of epithelial cell of 7 fish species of Cypriniformes and Perciformes were examined. Difference in nephron ultrastructure by quantity and sizes of some organelles were found between marine and freshwater bony fish. Two types of epithelial cells of proximal segment tubule were revealed in all examined fish species, differing in strain size and qualitative characteristics. An intermediate segment tubule was found in nephron of *Abramis ballerus* (L.) and *Stizostedion lucioperca* (L.).

### БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НЕКОТОРЫХ ОСЕТРОВЫХ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ В УСЛОВИЯХ САДКОВОГО РЫБОВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

А.И.Никифоров

ФГОУ ВПО Российский Государственный Аграрный Университет –  
Московская Сельскохозяйственная Академия имени К.А. Тимирязева,  
кафедра анатомии, гистологии и эмбриологии животных, Москва, Россия,  
e-mail: hsnai@rambler.ru

### Введение

Непоправимое нарушение сложного механизма воспроизводства осетровых вследствие масштабного гидростроительства на основных нерестовых реках и значительного ухудшения экологической обстановки в зонах обитания природных популяций, а также колоссальный размах браконьерства привели к повсеместному катастрофическому уменьшению численности этих ценнейших видов рыб.

Учитывая традиционно высокий потребительский спрос на осетровых как на внутреннем, так и на внешнем рынке страны, необходимо признать, что вопрос о необходимости всемерного развития товарного осетроводства в условиях специализированных рыбоводных хозяйств стоит в настоящий момент чрезвычайно остро. Это обуславливает актуальность исследований, направленных на изучение и разработку оптимальных режимов промышленного выращивания осетровых рыб различных видов.

**Цель** настоящей работы заключалась в изучении технологических особенностей одновозрастных особей белуги и сибирского осетра в процессе их выращивания до товарной массы в условиях специализированного промышленного рыбоводного хозяйства.

### Материалы и методы

Экспериментальная работа проводилась в условиях тепловодного садкового рыбоводного хозяйства, устроенного на водоеме-охладителе ГРЭС № 3 им.Р.Э. Классона (г.Электрoгoрск Московской области). Материалом для исследований послужили сеголетки белуги (*Huso huso* Linnaeus, 1758) и сибирского осетра (*Acipenser baerii* Brandt, 1869). Из особей данных видов были сформированы две пары опытных групп, в каждой из которых насчитывалось по 250 экземпляров рыб. В течение периода выращивания особи обоих видов находились в идентичных условиях содержания и кормления. Для кормления рыбы использовали специальный гранулированный корм для осетровых рыб BMS 55/13, производимый фирмой Kraftfutterwerk (Германия). Энергетическая ценность данного комбикорма составляет в среднем 1600 кДж/100г., при содержании сырого протеина около 55 % и сырого жира – 13 %. На протяжении периода выращивания регулярно контролировались основные гидрохимические показатели водоёма согласно ГОСТ 4979, ГОСТ 24902-81 и ОСТ 15.372-87, поскольку абиотические условия выращивания оказывают значительное влияние на пищевую активность осетровых.

Выращивание особей белуги и сибирского осетра было завершено по достижении ими товарной массы более 1,6 кг. При анализе итоговых результатов выращивания были определены следующие рыбоводные показатели: конечная масса рыбы, г; величина абсолютного прироста, г; величина относительного прироста, %; скорость роста рыбы (по Шмальгаузену); рыбопродуктивность в расчете на единицу площади садка, кг/м<sup>2</sup>; кормовые затраты на единицу прироста живой массы рыбы, кг/кг; сохранность поголовья в течение периода выращивания, %.

### Результаты и обсуждение

Сравнение зафиксированных нами величин основных гидрохимических показателей воды с нормативными требованиями допустимых значений данных показателей для вод рыбохозяйственных водоёмов дало основание утверждать, что колебания вышеозначенных показателей не превышали допустимых норм и находились в пределах, обеспечивающих нормальный рост и развитие белуги и сибирского осетра.

На протяжении трёх лет выращивания, по истечении которых особи белуги и сибирского осетра достигли товарной массы, виды характеризовались представленными в таблице 1 рыбоводно-технологическими показателями.

**Рыбоводно-технологические показатели за три года выращивания**

Вид, возраст Показатель	Белуга			Осетр сибирский		
	сего-летки	двух-летки	трёх-летки	сего-летки	двух-летки	трёх-летки
Живая масса, г	98,25	930,13	2031,26	96,56	901,42	1700,38
Кормовые затраты, кг/кг прироста	1,31	1,52	1,87	1,31	1,58	2,18
Сохранность, %	80,20	95,10	98,20	80,20	97,40	100,00

Согласно данным, представленным в таблице 1, до двухлетнего возраста белуга и сибирский осётр весьма несущественно отличаются друг от друга как по темпам роста, так и по кормовым затратам. Напротив, на третьем году жизни отличия между этими двумя видами становятся довольно значительными. Так, двухлетки сибирского осетра в среднем весили 901,42 г, они же, будучи трёх-летками – 1700,38 г, т.е. относительный прирост за этот период составил 88,72 %. В то же время особи белуги, имея в среднем массу в двухгодовалом возрасте, равную 930,13 г, к концу периода выращивания весили в среднем 2031,26 г, т.е. величина относительного прироста составила 113,83%, что на 25,11% больше, чем у сибирского осетра.

Рыбопродуктивность при выращивании трехлетков сибирского осетра составила 24,94 кг/м<sup>2</sup>, а при выращивании трехлетков белуги – 29,25 кг/м<sup>2</sup>. Это означает, что при выращивании трехлетков



белуги с 1 м<sup>2</sup> рыбоводного садка было получено на 4,31 кг товарной продукции больше, чем при выращивании в аналогичных условиях трехлетков сибирского осетра.

Кормовые затраты на единицу прироста живой массы у исследованных видов заметно отличались. Так, у сибирского осетра на единицу прироста расходовалось в среднем 2,18 кг корма, тогда как у трехлетков белуги затраты были меньше на 0,31 кг и составляли соответственно 1,87 кг корма на 1 кг прироста.

Скорость роста трехлетков, рассчитанная в относительных единицах согласно уравнению Шмальгаузена, составила у белуги 0,058, тогда как у трехлетков сибирского осетра она была ниже и составила соответственно 0,056.

Сохранность поголовья у исследованных видов также была различной. Так, поголовье сибирского осетра сохранилось к окончанию периода выращивания полностью (сохранность поголовья 100%), в то время как среди трехлетков белуги изредка наблюдался отход, и их сохранность за период выращивания составила 98,20 % от начального поголовья. Вероятно, одной из причин различной сохранности поголовья могло являться то обстоятельство, что выращивавшиеся особи белуги являлись так называемым первым поколением domestikации, тогда как трехлетки сибирского осетра происходили от особей, выросших в условиях индустриального рыбоводного хозяйства, там же созревших и давших полноценные половые продукты. В этой связи нельзя не отметить безусловную целесообразность создания маточного поголовья domestikцированных производителей белуги в условиях индустриальных рыбоводных хозяйств, что позволит повысить эффективность получения товарной продукции.

Нами также были определены следующие морфологические показатели для одноразмерных рыб обоих видов: масса тушки (порки), масса печени, масса селезенки, масса гонад, а также процентное соотношение вышеуказанных частей тела рыбы.

Так, у трехлетков белуги достоверно (при  $P \leq 0,001$ ) выше величина такого важного технологического показателя, как масса тушки с головой (порки). Масса печени, напротив, достоверно выше у трехлетков сибирского осетра по сравнению с одновозрастной белугой. По массе селезенки одноразмерные особи обоих видов достоверных отличий не имеют.

Наиболее же значительные (при  $P \leq 0,001$ ) отличия между трехлетками исследованных видов наблюдаются в развитии гонад. Так, если у трехлетков белуги относительная масса гонад составляет 0,45 % от живой массы, то у трехлетков сибирского осетра гонады составляют уже 7,77 % от массы тела (т.е. у трехлетков сибирского осетра масса гонад более чем в 17 раз превышает аналогичный показатель трехлетков белуги).

Причина этих отличий кроется в разновременности прохождения онтогенетических стадий одновозрастными особями этих двух видов осетровых при промышленном выращивании. В условиях тепловодного садкового хозяйства на третьем году жизни у сибирского осетра наблюдается заметное снижение темпов линейного роста на фоне активной дифференцировки гонад. Так как этот процесс неразрывно связан с изменением характера направленности пластического обмена, то имеет место факт физиологической гипертрофии печени в этот период у трехлетков сибирского осетра. В то же время, у трехлетков белуги половые продукты находятся в зачаточном, недифференцированном состоянии, и основная часть энергии потребляемого корма расходуется на поддержание стабильно высокого темпа линейного роста трехлетков белуги. Очевидно, что при дальнейшем выращивании будет заметно прогрессирующее снижение темпов массонакопления у сибирского осетра вследствие активно протекающих процессов гонадо- и гаметогенеза.

### Выводы

1. При выращивании белуги и сибирского осетра в условиях тепловодного садкового рыбоводного хозяйства в течение первых двух лет жизни темпы линейного роста и величины кормовых затрат на единицу прироста обоих видов отличаются несущественно.
2. На третьем году жизни белуга значительно обгоняет сибирского осетра по темпам линейного роста, при этом затрачивая меньше корма на единицу прироста живой массы.
3. Сохранность поголовья сибирского осетра по сравнению с одновозрастной белугой несколько выше в течение всего периода выращивания до трехлетнего возраста.

Результаты настоящего исследования могут представлять интерес для специалистов в области индустриального осетроводства при планировании ассортиментного перечня и объемов производства товарной продукции.

## **BIOLOGICAL PECULIARITIES OF SOME ACIPENSERIDAE UNDER REARING IN THE CONDITIONS OF THE INDUSTRIAL FISH-BREEDING FARM**

**A.I. Nikiforov**

Russian State Agrarian University  
Moscow Agricultural Academy after K.A. Timiryazev, Moscow, Russia  
e-mail: hsnai@rambler.ru

The efficiency of rearing the Acipenseridae fish of different species in conditions of industrial fish-breeding farm was estimated. Two species: *Acipenser baerii* (Brandt, 1869) and *Huso huso* (Linnaeus, 1758) were compared. Was found, that up to age of 3 years the mass growth speed was higher in *Huso huso*, this fish has grown to weight more than 2,0 kg. *Acipenser baerii* had earlier sexual development and consequently grew more slowly (this fish has grown to weight of 1,7 kg). It is received a commodity output: at cultivation of a *Acipenser baerii* – 24,9 kg/m<sup>2</sup>, at cultivation of a *Huso huso* – 29,3 kg/ m<sup>2</sup>. The results of the investigation can be used in making technological plans in industrial fish-breeding farms.

## **СОСТАВ И ОБИЛИЕ ФИТОПЛАНКТОНА ОЗЕРА КРИВОГО (ББС ЗИН РАН) В 1960-е и 2000-е ГОДЫ**

**В.Н.Никулина**

Учреждение Российской академии наук Зоологический институт РАН,  
г. Санкт-Петербург, Россия  
e-mail: veranik@zin.ru

Продуктивность водоема определяется общей биомассой и скоростью продуцирования автотрофных организмов. Потребление планктонных водорослей животными фильтраторами – один из главных путей утилизации первичной продукции. Работы, проведенные на озере Кривом в 1968–1969 и 1972 гг., выявили характерные особенности видового состава фитопланктона и функционирования экосистемы северного озера. (Винберг Г.Г. ред., 1975). Исследования, проводившиеся в 2002–2008 гг. преследовали цель установить изменения, произошедшие в фитопланктонном сообществе в течение последних трех десятилетий и оценить трофическую значимость водорослей планктона.

### **Материал и методы**

Фитопланктон в озере Кривом изучался в вегетационный период с конца мая по октябрь. Для фитопланктонных проб воду отбирали одновременно с пробами для определения содержания хлорофилла и первичной продукции. Определение видового состава и подсчет водорослей проводили в осадочных камерах объемом 10–25 мл с использованием инвертированного микроскопа Hydro-Bios, а также в камере Нажотта объемом 0,02 мл, используя микроскоп БИМАМ. Биомассу рассчитывали по суммарному объему клеток водорослей, принимая, что 10<sup>9</sup> мкм<sup>3</sup> соответствует 1 мг сырой биомассы фитопланктона. К доминирующим видам отнесены виды, численность и/или биомасса которых превышали 10% общей.

### **Результаты и обсуждение**

Проведенные исследования позволили установить, что за прошедшие годы произошли некоторые изменения в видовом составе и количественном развитии фитопланктона. .

Доминирующий состав водорослей в основном остался тот же (Никулина, 1975), но в количественном развитии общие численность и биомасса, за исключением диатомовых водорослей, несколько возросли.

Наиболее постоянными представителями планктона северного озера Кривого были и остаются водоросли из отделов Cyanophyta и Chrysophyta.

Цианобактерии (Cyanophyta), преобладающие в оз. Кривом, отличаются характерным видовым составом. В основном – это мелкоклеточные виды, относящиеся к порядку Chroococcales. Подавляющую долю в общей численности составлял вид *Microcystis pulverea* (Wood) Forti, максималь-

ная численность которого иногда доходила до  $18 \cdot 10^6$  кл./л. по сравнению с  $1 \cdot 10^6$  кл./л в период предыдущих исследований. Возросло также значение некоторых других цианобактерий, таких как *Synechococcus aeruginosus* Näg, *Coelosphaerium kutzingianum* Näg. В исследованиях 2002–2008 гг. отмечен постоянно встречающийся и часто выходящий в разряд доминантов, вид *Oscillatoria irrigua* (Kütz.) Gom., который ранее в планктоне озера не был зафиксирован вообще.

Золотистые водоросли (Chrysophyta) больше всего преобладали в первой половине лета. В большинстве своем они были представлены холодноводными видами, которые обычно наибольшего обилия достигают в маломинерализованных водах Балтийского кристаллического щита. Наиболее массовыми были представители рода *Dinobryon* и *Uroglenopsis*.

Значение диатомовых водорослей (Bacillariophyta) было невелико в шестидесятые годы и еще более сократилось в настоящее время. Преобладавший в раннелетнем планктоне вид *Aulacosira islandica* (O.Müller) Simonsen, в настоящих исследованиях встречен единичными экземплярами. Значительно сократилась численность представителей рода *Cyclotella*.

Динофитовые водоросли (Dinophyta), обычно представлены клетками, которые имеют большие размеры, поэтому они составляли значительную часть в общей биомассе фитопланктона оз. Кривого и прежде, и сейчас. При этом основная доля приходилась на вид *Ceratium hirundinella* (O.F.M.) Schrank.

Криптофитовые водоросли (Cryptophyta) стали, практически, новой, достаточно широко распространенной группой для планктона озера. Надо отметить, что в последние годы численность этих водорослей возросла повсеместно и в других водоемах северо-запада.

Доминирующие виды водорослей в течение вегетационного сезона в последние годы исследований представлены в табл.

**Преобладающие виды водорослей в оз. Кривом, 2002–2008 гг.**

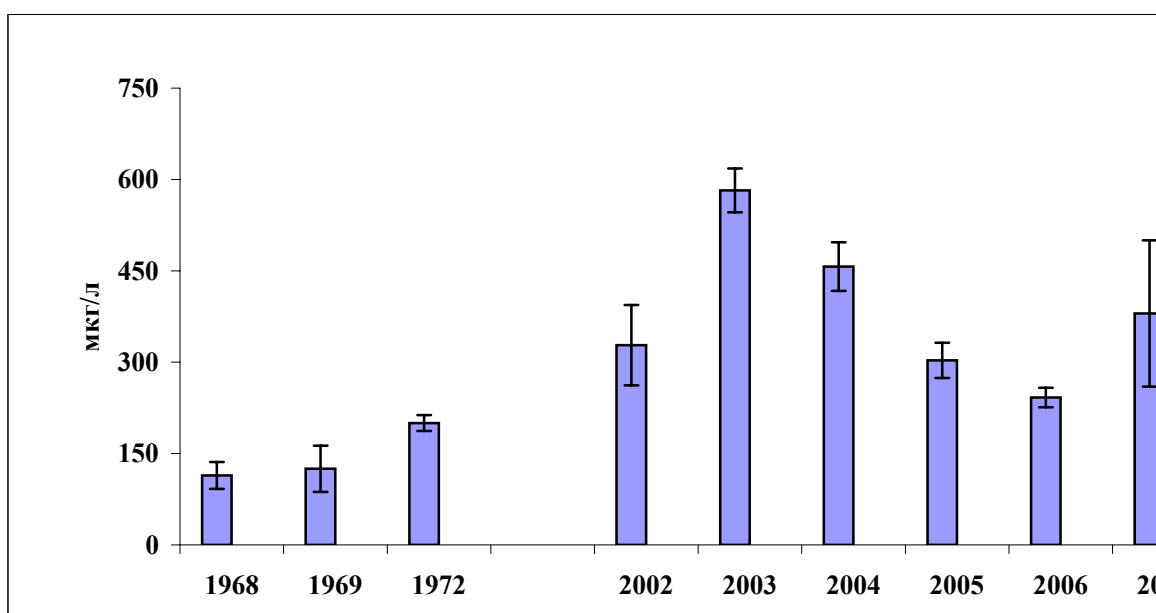
Весна	Лето	Осень
<i>Dinobryon divergens</i>	<i>Cryptomonas ovata</i>	<i>Cryptomonas ovata</i>
<i>D.bavaricum</i>	<i>Chroomonas caudata</i>	<i>Chroomonas caudata</i>
<i>Uroglena americana</i>	Цисты <i>Dinobryon</i>	<i>Gloeocapsa minuta</i>
<i>Synura uvella</i>	<i>Chrysococcus klebsianus</i>	<i>Microcystis pulvereae</i>
<i>Chroomonas caudata</i>	<i>Ceratium hirundinella</i>	<i>Anabaena lemmermannii</i>
<i>Oscillatoria irrigua</i>	<i>Mallomonas elliptica</i>	<i>Chrysococcus klebsianus</i>
	<i>Microcystis pulvereae</i>	<i>Oscillatoria irrigua</i>
		<i>Dinobryon divergens</i>

Величина общей биомассы за летние месяцы свидетельствует о некотором возрастании водорослей планктона в оз. Кривом за прошедший период. В среднем за вегетационный сезон 2002–2008 гг. биомасса фитопланктона составила 0,382 мг/л, что почти в два раза выше биомассы, наблюдавшейся в первый этап исследований (рис.).

Такие изменения трудно считать закономерными, поскольку очень возможно, что в 1960-е годы при начале вегетационных работ в первой половине июня, мы пропускали весеннее максимальное развитие фитопланктона. Более подробные исследования, проведенные в 2002–2008 гг. показали, что весенний максимум очень различается в разные годы как по срокам, так и по количественному развитию водорослей, он наблюдается то в конце мая, то в первой половине июня. Так в 2003 г. максимальная биомасса 0,82 мг/л отмечена 8 июня, в 2004 г – 0,93 мг/л 24 мая, а в 2007 г. – 0,77 мг/л 10 июня.

Четких различий в вертикальном распределении биомассы фитопланктона не отмечено, небольшое преобладание по численности мелкоклеточных *Synophyta* иногда наблюдалось в эпи- и металимнионе, что на общей биомассе почти не отразилось. Фотосинтез же в планктоне оз. Кривого приурочен к верхнему горизонту (Pavelieva, Umnova, 2005), поэтому наиболее высокие суточные Р/В- коэффициенты (0,8–1,5) отмечены в эпилимнионе. В слое мета- и гипolimниона Р/В коэффициенты составляли 0,1–0,4.

Доля хлорофилла в биомассе фитопланктона в 2002–2008 гг. в среднем за сезон. составила 0,17%, в 1968–1969 гг. – 0,2%.



Средняя за вегетационный сезон биомасса фитопланктона (мкг/л) за весь период исследований

Для оценки трофической значимости фитопланктона была посчитана биомасса водорослей, доступная для зоопланктонных потребителей с фильтрационным типом питания (до 40 мкм). За счет того, что в озере появились одноклеточные криптофитовые водоросли, которые по размерам, практически, все могут потребляться зоопланктоном, значительно повысилась трофическая значимость планктонных водорослей озера Кривого по сравнению с 1968–1972 гг.

В настоящее время доля доступной для фильтраторов биомассы фитопланктона составила  $44,2 \pm 9,2\%$  общей.

Используя радиоавтографический метод, в предыдущих исследованиях было получено уравнение зависимости фотосинтетической активности водорослей от объема клетки (Никулина, Гутельмахер, 1974). На основании этой зависимости в настоящих исследованиях была рассчитана продукция доступных, по размерам водорослей, для потребления зоопланктонными фильтраторами. В слое эпилимниона доля возможной для потребления зоопланктоном продукция фитопланктона оказалась очень высокой и составила почти 90% общей. Полученные данные свидетельствуют, что планктонное сообщество озера Кривого функционирует также как и в 1968 – 1969 гг., но на более высоком уровне продуктивности.

### Заключение

В планктоне оз. Кривого зафиксированы виды водорослей, которые в 1968–1969 и 1972 гг. не отмечались. Доля некоторых эндогенных популяций в общей численности фитопланктона сократилась, других – увеличилась, появились виды, ранее не отмечавшиеся в планктоне.

Общая биомасса фитопланктона возросла с 0,20 до 0,38 мг/л, по которой, по-прежнему, озеро характеризуется как олиготрофный водоем.

Относительные характеристики фитопланктона очень близкие к тем, которые наблюдались в первый период исследований. Суточный Р/В коэффициент в эпилимнионе составил 0,88, в гиполимнионе – 0,11, доля хлорофилла в биомассе – 0,17%.

Доля потенциально доступной для потребления растительноядным зоопланктоном биомассы фитопланктона составила более 44%, первичной продукции в эпилимнионе 90%.

*Работа была поддержана Российским Фондом Фундаментальных Исследований, грант 08-04-00101.*

### Литература

- Винберг Г.Г. ред. Биологическая продуктивность северных озер, ч. 1, Л.: Наука, 1975. 227 с.  
 Никулина В.Н., 1975. Фитопланктон // Биологическая продуктивность северных озер, ч. 1, Л.: Наука, С. 42–54.

Никулина В.Н., Гутельмахер Б.Л., 1974. Фотосинтетическая активность отдельных видов водорослей планктона оз. Кривого // Экология, № 4. С. 101–104.

Pavelieva E.B., Umnova L.P., 2005. The balance of organic matter in the Krivoye lake. // Abstracts of conference «Aquatic Ecology at the Dawn of XXI Century», St-Petersburg. P. 72.

## COMPOSITION AND ABUNDANCE OF THE PHYTOPLANKTON OF LAKE KRIVOYE (WSBST. RAS) 1960S AND 2000S YEARS

V.N. Nikulina

Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

e-mail: veranik@zin.ru

Ecosystem of Lake Krivoye was investigated in 1968–1972 within the framework of the International Biological Program. The research carried out in 2002–2008 showed that the abundance of some endogenous populations of plankton algae had decreased (Bacillariophyta), while the abundance of others had increased (Cyanophyta). The Cryptophyta turned out to be a new group for the phytoplankton of this lake. Changes in phytoplankton structure had increased its nutritional importance. Percent of algae, which are available for consumption by zooplankton filterers (size < 40 µm), had increased (Cyanophyta, Cryptophyta, Dinophyta). Availability of plankton algae for zooplankton filter feeders at present comprises  $44.2 \pm 9.2\%$  of total biomass.

## ИССЛЕДОВАНИЯ НЕРЕСТОВЫХ МИГРАЦИЙ ЦЕННЫХ ВИДОВ РЫБ С ПОМОЩЬЮ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Д.С. Павлов<sup>1</sup>, Э.С. Борисенко<sup>1</sup>, А.Д. Мочек<sup>1</sup>, А.И. Дегтев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Учреждение Российской академии наук Институт проблем экологии и эволюции  
им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва, Россия, e-mail: esborisenko@gmail.com

<sup>2</sup>ООО «ПромГидроакустика», г. Петрозаводск

В последние десятилетия в северной Атлантике наблюдается устойчивая тенденция снижения численности лососевых и сиговых рыб. По данным ICES (International Council for the Exploration of the Sea) состояние запасов атлантического лосося (*Salmo salar*, L.) во всех частях ареала его обитания, за редким исключением, оценивается как критическое (ICES, 2003). Это снижение вызвано многими факторами, среди которых выделяют возросшую смертность рыб в районах нагула, чрезмерный пресс промысла, неконтролируемый лов (браконьерство), гидростроительство в нерестовых реках, загрязнение и разрушение пресноводной среды обитания, воздействие культивируемых рыб на генофонд «диких» популяций, распространение болезней и паразитов в результате развития аквакультуры. Некоторые из этих причин привели к значительному сокращению численности рыб во многих реках Карелии, Архангельской и Мурманской областях (Прусов С.В., 2004).

Под воздействием комплекса факторов различного происхождения ежегодные колебания численности атлантического лосося могут быть очень значительными, что приводит к ситуациям, когда использование ресурса может быть весьма рискованным для устойчивой эксплуатации и удовлетворительного состояния популяции (NASCO, 2000). В современных условиях, когда запасы атлантического лосося требуют эксплуатации с учетом осторожного подхода (NASCO, 1999), назрела необходимость мониторинга состояния его численности. Результаты исследований позволят не только максимально снизить вероятность подрыва численности атлантического лосося, но и дадут возможность использовать его запас с наибольшей социально-экономической выгодой на долгосрочной основе.

После завершения коммерческого лова с использованием РУЗ на многих реках, возникла проблема оценки численности лосося и сбора данных по качественным параметрам популяции, необходимых для рациональной эксплуатации запаса. Решение проблемы оценки численности требует внедрения новых, не традиционных, методов оценки ресурса. В настоящее время наиболее эффективными принято считать гидроакустические методы, позволяющие оценивать численность мигрирующих рыб проходящих контролируемое сечение реки в течении длительного времени. Для этих целей разработана методи-

ка и создан гидроакустический комплекс «NetCor» по учету проходящих на нерест рыб с сетью автономных станций управляемых по радиоканалу (Дегтев и др., 2007). Этот комплекс использовался в экспериментальных исследованиях на реках разного типа – Северная Двина и Онега (Архангельская область), Поной (Кольский полуостров) и протока Варпак (р. Нижний Иртыш).

### Аппаратура и методика

Основное назначение комплекса – количественная оценка рыб проходящих через сканируемое сечение реки, определение их размерного состава и направления движения в грациях вверх – вниз по течению.

Комплекс состоит из сети плавучих гидроакустических высокочастотных многолучевых станций связанных по радиоканалу пакетной передачи данных с береговой компьютеризированной контрольно-измерительной системой. Радиопередача ведется в не лицензируемом диапазоне радиочастот ISM 2.4 ГГц с использованием трансиверов «NanoNET» (стандарт IEEE 802.15.4a). Акустическое зондирование осуществляется в горизонтальной плоскости под любым заданным углом к поверхности воды или дна.

Основные технические характеристики: рабочая частота – 455 КГц; длительность зондируемых импульсов – от 0.1 до 1.0 мс; электрическая мощность на антенне 40 – 80 Вт; частота следования посылок – до 12 Гц; ширина характеристики направленности одного луча на уровне – 6 дБ 10°, ширина многолучевого сектора обзора до 80° в плоскости веера лучей каждой антенны; в горизонтальном режиме обеспечивается регистрация рыб при глубине места от 0.5 м; в горизонтальном режиме максимальная дальность регистрации одиночной рыбы с силой цели – 50 дБ – 20 м; дистанция устойчивой радиосвязи – до 200 м, дистанция предельной радиосвязи – до 600 м (в зависимости от используемых радиоантенн); число плавучих гидроакустических станций в сети – до 16 шт; электрическое питание –  $\pm 12$  В; математическое обеспечение системы состоит из программы управления комплексом и сбора данных с сети плавучих гидроакустических станций в реальном времени и программы камеральной обработки полученной информации в отложенном времени на компьютерах платформы x86 под управлением ОС «Windows».

На плавучих платформах расположены сканирующая многолучевая акустическая антенна, цифровой, программно-управляемый генератор-приемник, радиопередающее устройство для приема и передачи акустической информации и аккумуляторная батарея.



Рис. 1. Сеть из 3-х плавучих станций комплекса, установленная на реке Северная Двина для подсчета ценных видов рыб идущих на нерест

Программа управления работой комплекса позволяет с компьютера-ноутбука устанавливать режимы работы комплекса, осуществлять ввод и хранение данных цифрового представления эхосигнала. Визуализация подводной обстановки осуществляется в виде движущейся эхограммы – интегральной и по каналам. Режимы встроенного осциллографа и секторного обзора позволяют выделять отдельные цели и проводить контрольные измерения силы цели рыб. Вся информация и массив получаемых гидроакустических данных непрерывно записываются в память компьютера. При



обработке информации осуществляется фильтрация помех и кластерный анализ для выделения полезного сигнала от рыбы на фоне реверберации акустического сигнала от поверхности воды, дна и неоднородностей водной среды. В результате обработки формируются таблицы обработанных данных, в которых фиксируется вся информация от каждой рыбы, прошедшей через зону регистрации акустического поля многолучевой антенны: порядковый номер рыбы, направление ее перемещения, акустическая сила цели, длина рыбы и время регистрации.

Количество плавучих платформ и расстояние между ними устанавливаются в пределах дальности действия гидролокаторов, зависящей от глубины и ширины реки в месте установки антенны. При проведении экспериментальных регистраций рыб в перечисленных реках использовали до 3 плавучих платформ (рис.1.)

Наблюдения в стационарных условиях с использованием комплекса «NetCor» позволяют получить оценку численности рыб в режиме ежесуточного накопления данных в течение длительного периода. При этом, нельзя ограничиваться сбором данных только в какой-то отдельный период суток, т.к. состояния погоды (пасмурно-солнечно, осадки, температура, лунные циклы и др.), может существенно изменить суточную динамику миграций. Обработка результатов наблюдений выполняется подготовленным оператором и не требует значительных затрат времени

### Результаты и обсуждение

**Протока Варпак.** Целью экспериментальных работ с использованием комплекса «NetCor» на р. Варпак – выявление суточной миграции туводных рыб, в том числе миграции ранней молоди, через устье реки. Работы проводились в устье протоки Варпак в период высокой воды с 10.00 29 июня по 10.00 07 июля 2008 г.

Береговое, программно-управляемое устройство комплекса размещалось в лабораторном корпусе научно-исследовательского стационара «Миссия» на расстоянии более 100 м от плавучей платформы. Ширина реки в месте установки 12–15 м, максимальная глубина места 1,5 м, уровень воды за время наблюдения упал до 1 м. Место и направление установки антенны определяет приведенные ниже термины направления движения зарегистрированных рыб: слева направо – вверх против течения, справа налево – вниз по течению.

Наблюдения за перемещением рыб с помощью комплекса «NetCor» проводилось круглосуточно. Зондирование сечения реки осуществлялось в сторону правого берега реки в горизонтальной плоскости. Глубина погружения антенны – 0.5 м, наклон диаграммы направленности изменяли в пределах – 1–3 градуса в сторону поверхности воды, в зависимости от уровня. Мертвая зона гидролокатора составляла от 0.5 м до 1 м. Перекрытие сечение реки по вертикали составило более 75 %. Сектор сканирования многолучевой антенны – 70°, позволял устойчиво регистрировать направление перемещения рыб в градациях вверх/вниз по течению. Высокая чувствительность антенны гидролокатора по приему и достаточный динамический диапазон позволял регистрировать раннюю молодь рыб с размерами около 1 см на расстояниях более 15 м. Фрагмент отображения прохождения мелкой рыбой протоки Варпак по шести каналам многолучевой антенны гидролокатора и результат кластерной обработки фрагмента наблюдений приведены на рис.2 и 3.

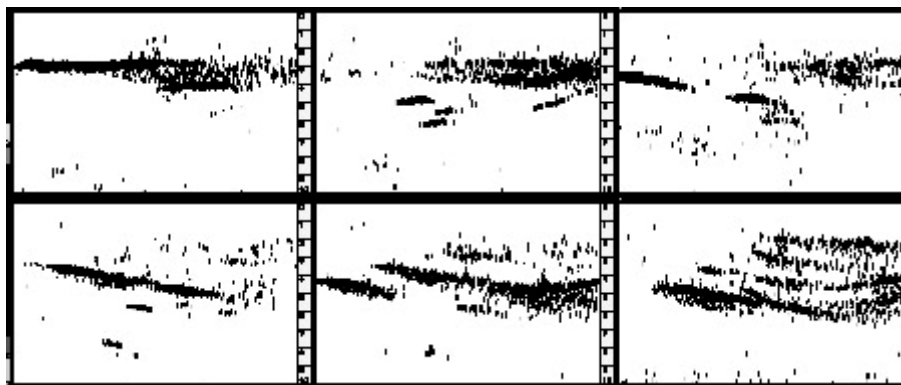


Рис. 2. Фрагмент отображения прохождения мелкой рыбой протоки Варпак по шести каналам многолучевой антенны гидролокатора

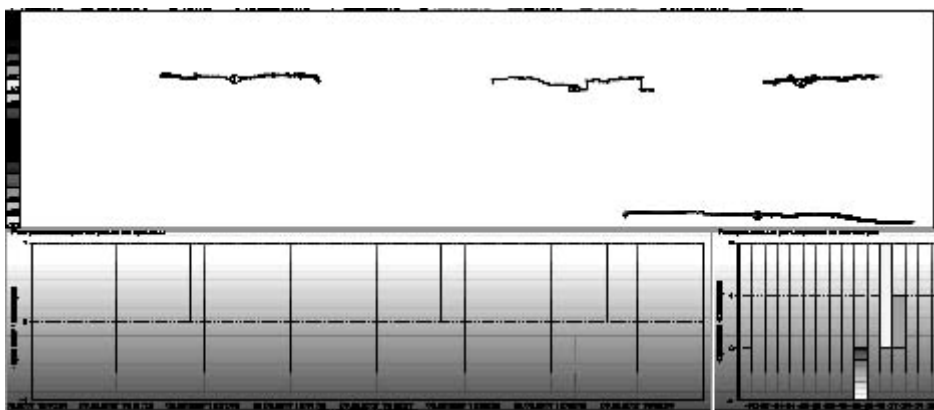


Рис. 3. Результат кластерной обработки фрагмента наблюдений в протоке Варпак (3 рыбы прошли вверх по течению и 1 вниз)

Вся информация и массив получаемых гидроакустических данных непрерывно записывались в память компьютера. При обработке информации осуществлялась фильтрация помех и кластерный анализ для выделения полезного сигнала от рыбы на фоне реверберации акустического сигнала от поверхности воды, дна и неоднородностей водной среды. В результате наблюдений определена суточная динамика перемещения рыб вниз и вверх по течению протоки Варпак (рис.4.) Размерный состав молоди рыб и рыб длиной более 6 см, прошедших через устье протоки Варпак в течение 8 суток, приведен на рис.5.и 6. По результатам сетных обловов, рыбное население протоки Варпак состояло в основном из 6 видов, Размерный состав рыб в том числе и ранней молоди выловленной мальковым тралом в хорошо согласовывался с данными гидроакустических измерений.

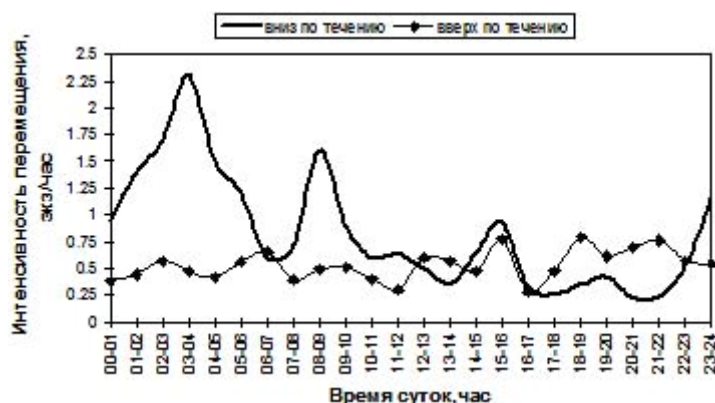


Рис. 4. Суточная динамика перемещения рыб вверх и вниз по течению протоки Варпак за время наблюдений с 29.06. по 07.07.2008 г.

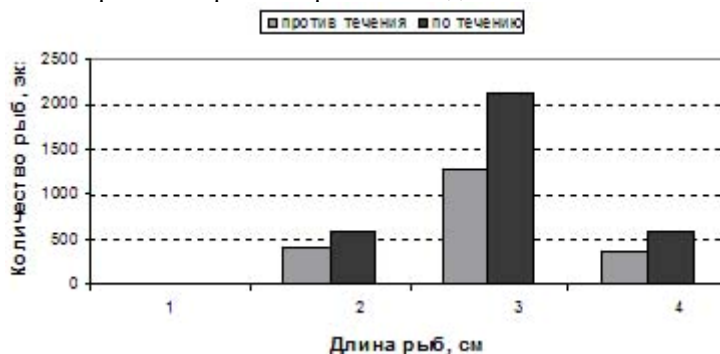


Рис. 5. Размерный состав ранней молоди рыб, прошедшей через сечение протоки Варпак вверх и вниз по течению



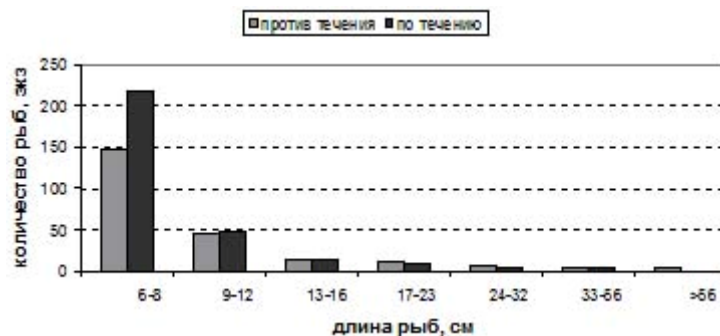


Рис. 6. Размерный состав рыб длиной более 6 см прошедшей через сечение протоки Варпак вверх и вниз по течению

Таким образом, в результате проведенных экспериментальных наблюдений за перемещением рыб в устье протоки Варпак с помощью многолучевого гидроакустического комплекса выявлено, что научно-исследовательский гидроакустический комплекс «NetCor» с многолучевой высокочастотной акустической системой обеспечивает регистрацию перемещений рыб разного размера, включая раннюю молодь с размерами около 1 см.

**Река Поной** характеризуется наличием мощных турбулентных потоков с высоким содержанием пузырьков воздуха. Плавучую платформу комплекса «NetCor», для выполнения работ в стационарном режиме, устанавливали вблизи берега в районе базового лагеря. Использовали одну плавучую платформу, период наблюдений составил около 1.5 суток (Павлов и др.2008 г.). В процессе экспериментов переключали диапазоны дальности – 10 и 20 м, а также мощность излучаемых сигналов – 10 и 25 Вт, длительности импульсов от 0.1 до 0.8 мс. Акустическую антенну устанавливали на разных горизонтах от 10 до 70 см от поверхности и ориентировали под разными углами к поверхности воды. Сектор сканирования по горизонтали – 70°, зондирование пространства по вертикали на расстоянии 10 м составляет 2.2 м, 20 м – более 4 м, таким образом, осуществляется полное перекрытие водного потока по глубине в зоне действия прибора. На эхограмме (рис.7.) четко прослеживается направление перемещение рыбы вверх по течению, о чем свидетельствует время начала первой регистрации рыбы крайним правым лучом антенны (канал 6) направленным в сторону устья реки. Реверберационные помехи от дна, поверхности воды и турбулентных потоков при камеральной обработке отфильтровываются.

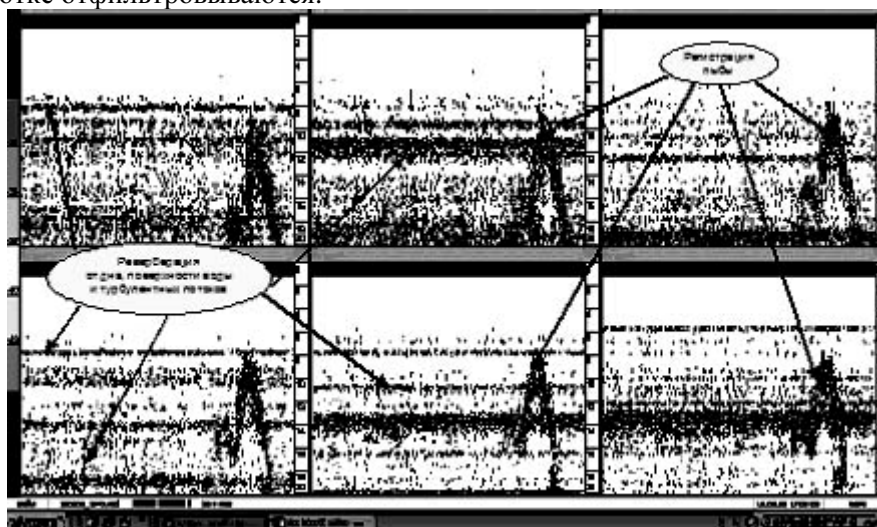


Рис. 7. Прохождение рыбы зондируемого сектора обзора акватории вверх по течению р. Поной

Из приведенной эхограммы видно, что направление перемещение рыбы хорошо прослеживается, однако для расчета ее размера необходимо учитывать избыточные потери акустической энергии, обусловленные наличием воздушных пузырьков и различного рода неоднородностей в водной

среде. Поэтому, исходя из того, что скорость водотока в реке превышала 200 см/с, для расчета коэффициента избыточных потерь использовали эмпирические зависимости полученные для учета избыточного затухания звука взволнованной водной средой при силе ветра от 2 до 4 м/с (приповерхностные течения от 150 до 300 см/с), скорости звука 1450 м, на глубине 1 м (Borisenko, 1987). Пересчет полученных значений силы цели рыб (TS) в ее размеры использовали уравнения регрессии при ее боковом облучении, полученные для атлантической семги (*Salmo salar*, L) и кумжы (*Salmo trutta*, L) (Lilja et al., 2000).

За все время стационарных наблюдений за прохождением рыбы через сечение реки в районе расположения базового лагеря (около 37 часов), с использованием комплекса NetCor, зарегистрировано 55 рыб. В том числе вверх по течению переместились 40 и скатилось 16 экз. Следует выделить 2 цикла максимальных суточных перемещений с 9:00 до 12:00 наблюдали 20 рыб, из которых 13 рыб поднялись вверх и 7 вниз скатились вниз по течению реки, а с 22:18 по 24:00 зарегистрировано 19 рыб – 16 вверх по течению и 3 вниз. С 00:28 по 02:00 обнаружено 10 рыб, из которых 7 экз. прошли вверх по течению. В районе 17:30 обнаружили 4 рыбы, из которых 1 рыба сначала поднималась и затем скатилась вниз по течению.

В размерном составе зарегистрированных рыб преобладали рыбы длиной менее 40 см. Отмечено всего 10 экз с размерами более 50 см. Максимальная по размеру рыба, длиной около 90 см, прошла вверх по течению реки в 10:45:18. Вторая, наоборот скатилась вниз в 22:47 и была примерно того же размера – около 90 см. Распределение силы цели рыб, зарегистрированных комплексом NetCor за весь период наблюдений с 14:00 09.08.08 по 03:30 11.08.08., приведены на рис.8.

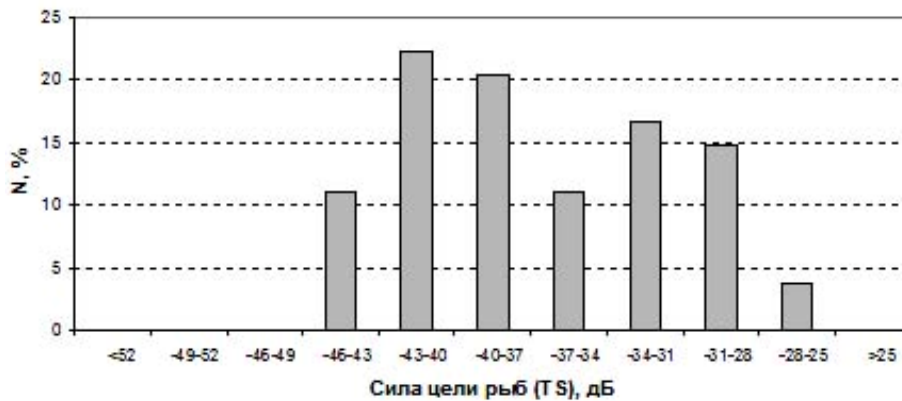


Рис. 8. Распределение силы цели зарегистрированных рыб

Таким образом, результаты проведенных экспериментальных наблюдений с использованием комплекса NetCor показали широкие возможности его применения для оценки численности проходных рыб, определения их размеров и направление перемещений в мелководных водотоках с быстрым течением воды, насыщенной воздушными пузырьками и различного рода неоднородностями среды

**Река Онега (Архангельская обл.).** Экспериментальные исследования проводились в период с 23 по 30 октября 2008 года в районе деревни Медведевская. Целью работ была экспериментальная количественная оценка числа проходящих на нерест половозрелых особей семги с использованием комплекса «NetCor».

Приемное устройство комплекса устанавливали в жилом доме на берегу реки, а в качестве плавучей платформы использовали маломерную лодку, которую последовательно переставляли по обследуемому сечению реки. На рис.9. представлена временная диаграмма регистрации рыб в одной из точек постановки комплекса на реке, на рис.10. – гистограмма размерного состава всех зарегистрированных рыб общей численностью 46 особей. В других точка постановки плавучего комплекса были отмечены только единичные регистрации мелкоразмерной рыбы. Таким образом, в результате экспериментальных работ на р. Онега выявлено, что для достоверной количественной оценки проходящей через сечение реки семги и соответственно направление ее перемещения, необходимо установка на реке большого количества плавучих платформ – не менее 20 шт., зондирующих на максимальном диапазоне дальности.

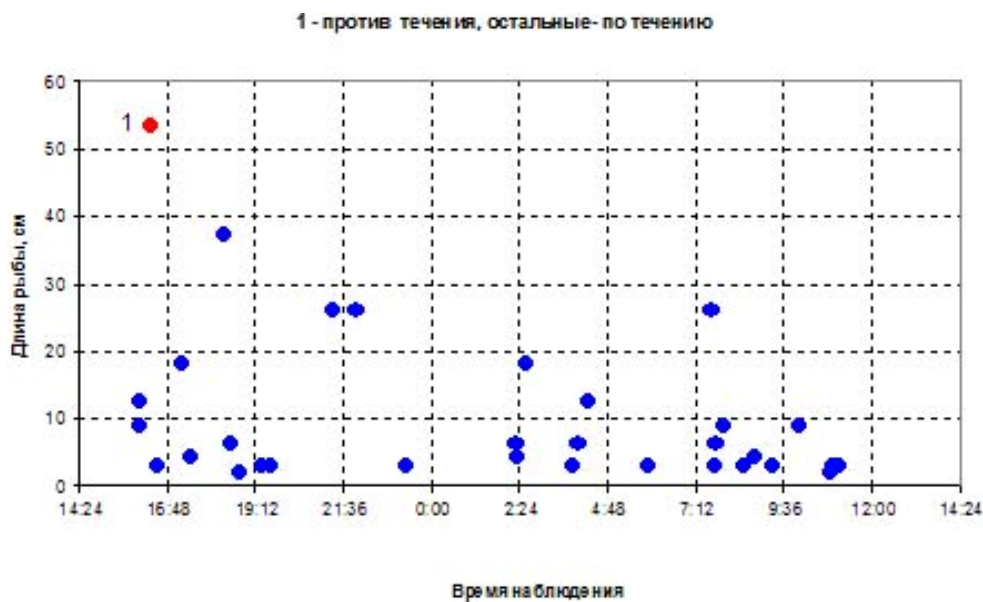


Рис. 9. Диаграмма размерно-временного распределения зарегистрированных рыб

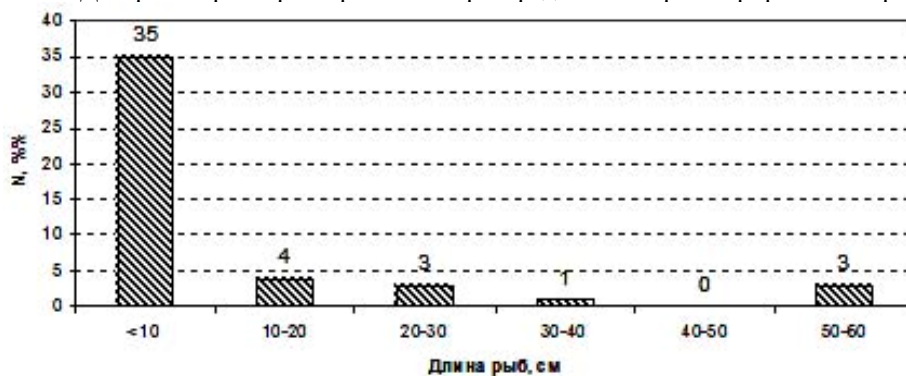


Рис. 10. Гистограмма размерного состава зарегистрированных рыб



Рис. 11. Характерная эхограмма массового прохода разновозрастных рыб через зону регистрации комплекса «NetCor» на акватории Северной Двины, 28 сентября 2008 года, 20:04 – 20:15

**Река Северная Двина.** Экспедиционные работы на реке Северная Двина проводились в период с 27 по 30.09.2008 г в районе острова Молодежный на р. Северная Двина. Береговая контрольно-измерительная станция устанавливалась на дебаркадере, а плавучие платформы последовательно переставлялись по обследуемому сечению реки (см. рис.1.) с разным заглублением антенны (от 0,5 до 1,5 м), параллельно выставленным орудиям лова на расстоянии от них до 100 метров ниже по течению реки. На рис.11. представлена характерная эхограмма

гидроакустической регистрации проходящих рыб комплексом «NetCor» на акватории Северной Двины. Результаты регистраций рыб прошедших через сечение реки за время наблюдения и гистограммы их размерного распределения представлены на рис.12. и 13. Таким образом, комплекс «NetCor» обеспечивает регистрацию проходящих рыб при глубине места от 0,5 до 5 метров с возможностью автоматизированного подсчета числа прошедших рыб, определение их размера и направления перемещения в двух градациях – вверх или вниз по течению.

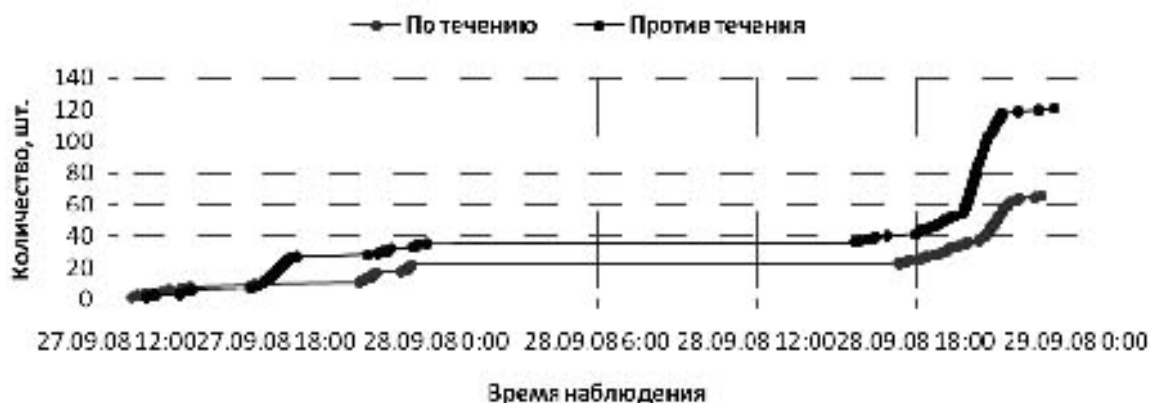


Рис. 12. Диаграмма накопленного за время наблюдения числа рыб прошедших зону регистрации на акватории Северной Двины

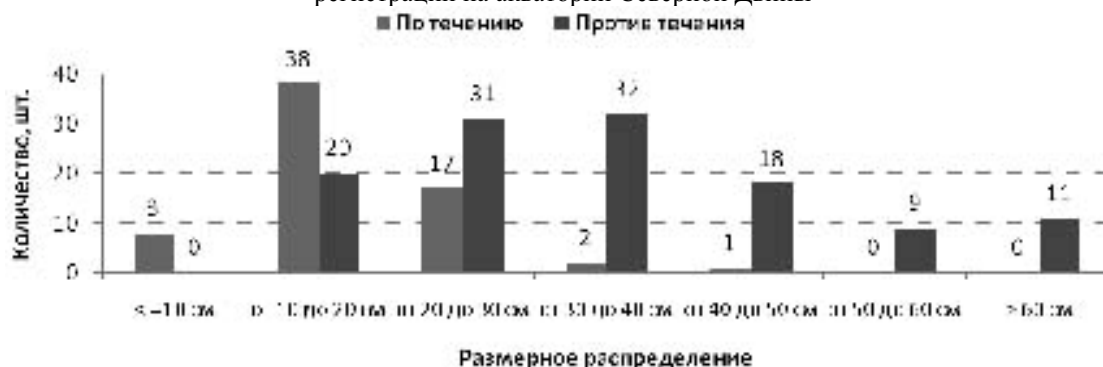


Рис. 13. Гистограмма размерного состава зарегистрированных рыб

### Выводы

Результаты выполненных работ на реках различного типа показали, что комплекс «NetCor» позволяет эффективно осуществлять наблюдения за перемещением рыб разного размера в течение длительного времени. Комплекс обеспечивает гидроакустическую регистрацию рыб разного размера, в том числе раннюю молодь рыб размерами около 1 см, пересекающих стационарную зону зондирования в условиях мелководья, повышенной турбулентции, наличии большого количества воздушных пузырьков и неоднородностей водной среды.

### Литература

Дегтев А.И., Мощевикин А.П., Борисенко Э.С., Мочек А.Д., Смирнов Ю.В., 2007. Количественная оценка проходных рыб гидроакустическим методом на мелководных водоемах//Журн. «Рыбное хозяйство», № 6, с.102–103. Павлов Д.С., Борисенко Э.С., Дегтев А.И., 2008. Результаты экспериментальных исследований по гидроакустической регистрации рыб р.Поной.//Материалы докл. Всероссийской конф. «Гидроакустические исследования на внутренних водоемах», 2-4 декабря 2008 г. Изд. ООО «Принтхаус» 2008. 78 с., с.59–69.

Прусов С.В. Атлантический лосось (*Salmo salar*, L) реки Поной экология, воспроизводство, эксплуатация): Автореферат дисс. канд.биол.наук., Петрозаводск, 2004, 1.4 п.л.

Borisenko E// The results of experimental research into excess sound attenuation in the Sea.// Rap. Et Proc.Intern. Symposium. Developments in Fisheries Acoustics: June 22–26, 1987, Seattle, Wash., 1987, 37 p.

Juha Liljaa\*, Timo J. Marjomakia, Raimo Riikonenb, Juha Jurvelius// Side-aspect target strength of Atlantic salmon (*Salmo salar*), brown trout (*Salmo trutta*), whitefish (*Coregonus lavaretus*), and pike (*Esox lucius*)//. All rights reserved. Aquat. Living Resour. 13 (2000) 355–360.

## ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЫБНОГО НАСЕЛЕНИЯ ПОЙМЕННЫХ ВОДОЕМОВ

Д.С. Павлов<sup>1</sup>, А.Д. Мочек<sup>1</sup>, Э.С. Борисенко<sup>1</sup>, А.И. Дегтев<sup>2</sup>, С.И. Студенов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Учреждение Российской академии наук Институт проблем экологии и эволюции им А.Н. Северцова РАН, г. Москва, Россия, e-mail: esborisenko@gmail.com

<sup>2</sup> ООО «ПромГидроакустика», г. Петрозаводск

<sup>3</sup> СевПИПРО, г. Архангельск

Во время паводка на всех речных системах большинство рыбного населения устремляется из водотоков на пойменные акватории для размножения и нагула. Здесь, в пойменных водоемах, рыбы, на различных этапах жизненного цикла, находят необходимые жизненные ресурсы: созревшие производители – нерестовый субстрат; взрослые особи – обильную кормовую базу; развивающаяся молодь – необходимые условия для развития. В дальнейшем, по мере схода воды, рыбы разных видов, возрастов и экологических групп, в определенной очередности, покидают пойменные водоемы и расселяются по руслу реки (Иоганзен, 1972).

Пойменные водоемы различаются между собой по генезису, длительности затопления, имеют различные размеры и форму. Вместе с тем, характерной чертой практически всех водоемов подобного типа является их малая глубина. По этой причине изучение биологических ресурсов пойменных акваторий крайне затруднено в методическом плане. В частности, важнейшие особенности экологии рыб, состав, распределения и динамика их сообществ исследованы, преимущественно на качественном уровне.

В настоящей работе для изучения рыбного населения мелководных пойменных акваторий Западной Сибири предложен надежный и высокопроизводительный гидроакустический метод с использованием многолучевой сканирующей системы комплекса «PanCor». До разработки этого научно-исследовательского комплекса применение гидроакустического метода учета рыб на пойменных акваториях не представлялось возможным. Экспериментальные гидроакустические съемки по количественной оценке рыбного населения мелководных акваторий с глубинами около 1 м проводили на двух типах пойменных водоемов в бассейне Нижнего Иртыша – протоке Варпак и озере Арынное.

### Аппаратура и методика

Гидроакустический высокочастотный программно-технический комплекс «PanCor» предназначен для количественной оценки рыб мелководных акваторий в режиме эхометрических съемок. Пространственное распределение рыб определяется при помощи многолучевой высокочастотной сканирующей системы, установленной на плавающем средстве. Состоит из гидроакустического, программно-управляемого высокочастотного генератора-приемника с многолучевой антенной, навигационного приемника системы GPS, специализированного математического обеспечения. Высокочастотное акустическое сканирование водного пространства может осуществляться как в горизонтальной плоскости под любым заданным углом, так и в вертикальной в направлении дна или поверхности воды. Определение размерного состава рыб осуществляется по методу измерения силы цели рыб «in situ» сканирующими гидроакустическими системами (Борисенко, 2008) с использованием уравнений регрессии, полученными для наиболее массовых рыб Обь-Иртышского бассейна (Borisenko et al, 2006)

Основные технические характеристики экспериментального комплекса «PanCor»:

рабочая частота – 445 КГц, длительность зондируемых импульсов от 0.1 до 0.8 мс; электрическая мощность на антенне от 20 до 80 Вт; ширина диаграммы направленности одиночного луча сканирующей антенны на уровне – 3 дБ 10°, ширина сектора обзора водной среды – 70° и 210°;

диапазоны дальности программно-переключаемые от 2 до 20 м; возможность работы в режимах горизонтальной и вертикальной локации, при любом наклоне диаграммы направленности антенны; частота дискретизации эхосигнала – до 100 КГц, с разрядностью АЦП – 14 бит; определение координат осуществляется непрерывно спутниковым навигационным приемником GPS, подключенным к компьютеру-ноутбуку; электрическое питание – +/- 12 В.

Экспедиционная программа управления позволяет с компьютера-ноутбука устанавливать режимы работы комплекса, осуществлять ввод и хранение данных цифрового представ-



ления эхосигнала, а также координат местоположения через порт USB. Визуализация подводной обстановки в виде движущейся эхограммы – интегральной и по секторам. Обработка первичной цифровой информации по гидроакустической регистрации рыб комплексом «PanCor»: цифровая фильтрация эхосигнала с целью подавления реверберационных помех (фильтр низких частот); кластерный анализ выделенных эхосигналов от рыб Специализированное программное обеспечение камеральной обработки использует современные программные геоинформационные продукты, такие как «MapView», «MapInfo», «Sigfer», «Voxler» и другие. В результате эхометрических съемок акватории реки строятся карты-планшеты пространственного распределения семги на обследованном участке реки, определяется общая численность рыбы и ее размерный состав.

### Результаты и обсуждение

**Пойменная протока Варпак.** Протяженность исследованной акватории составляет около 2 км, а глубины, в среднем, не превышают 1 м. Работы проводились в период с 1 по 4 июля 2008 года на акватории р. Варпак в светлое и темное время суток.

Эхометрические съемки проводили в горизонтальном режиме сканирования многолучевой антенной в секторе от  $70^0$  до  $210^0$ . Видовой состав рыбного населения определяли на основе результатов обловов озера ставными сетями и мальковым тралом. На рис.1. представлены характерные эхограммы регистрации рыб комплексом «PanCor» в темное время суток.

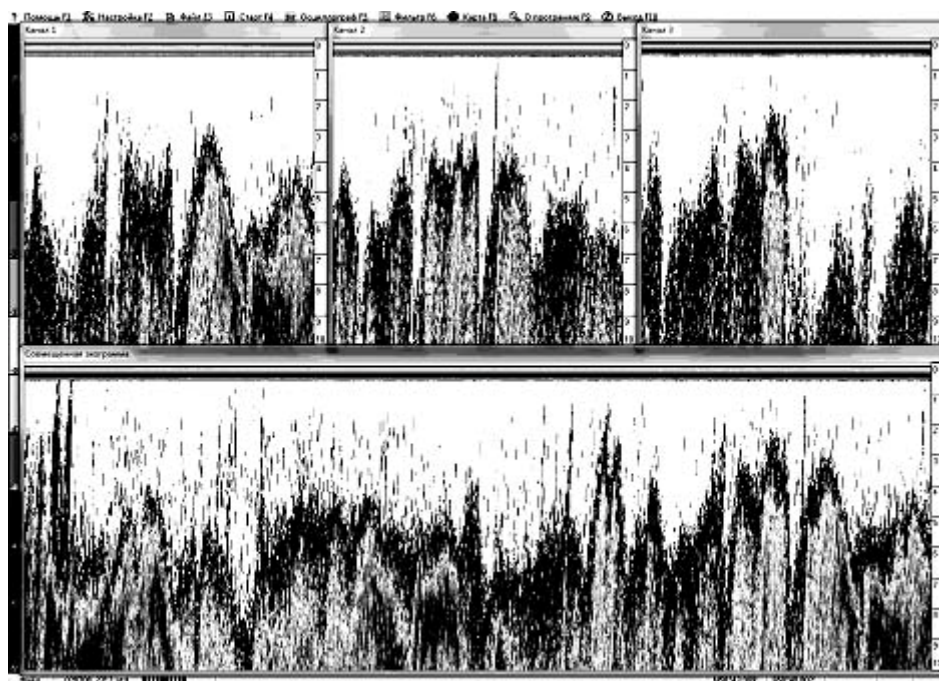


Рис. 1. Характерная эхограмма регистрации разноразмерной рыбы комплексом «PanCor», в протоке Варпак

Размещение рыб в протоке Варпак имеет агрегированный характер, вне зависимости от времени суток (рис. 2. и 3.).

Как свидетельствуют представленные планшетные схемы, рыбы в протоке Варпак формируют центры повышенной концентрации – 6 участков днем и 15 участков ночью. При сопоставлении результатов гидроакустических съемок в разное время суток выявляется контрастное увеличение общей численности рыб, а также плотности их скоплений в сумеречно-ночное время, сравнительно со светлым временем суток. Размерный состав рыбного населения протоки Варпак характеризуется численным преобладанием молоди с длиной тела от 5 см до 10 см. (рис. 4).

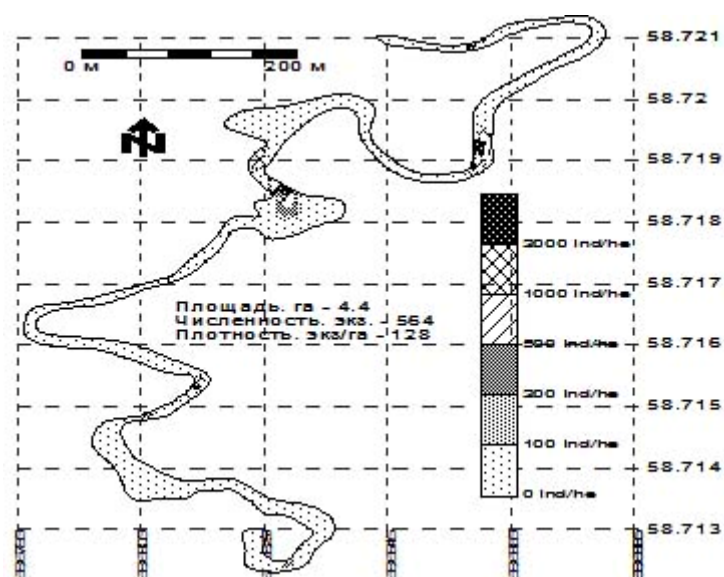


Рис. 2. Планшет дневного распределения рыбы в протоке Варпак

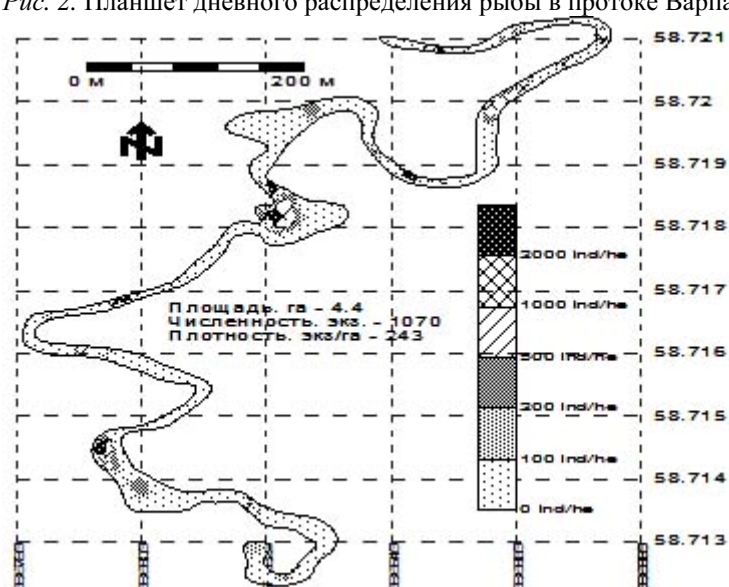


Рис. 3. Планшет ночного распределения рыбы в протоке Варпак

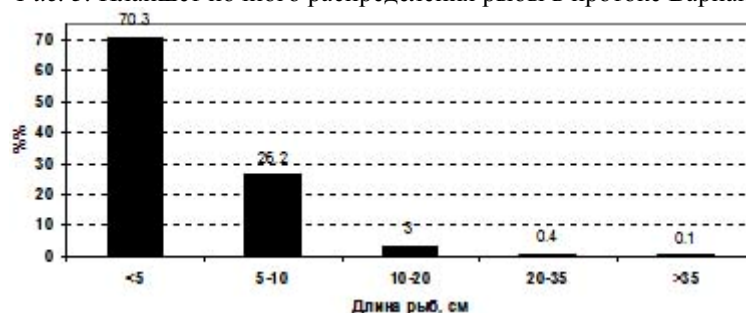


Рис. 4. Гистограмма размерного состава рыбного населения протоки Варпак

Протока Варпак соединяет обширные пойменные массивы с магистральным руслом р. Иртыш. Перемещение рыб вниз по течению – интенсивный скат молоди из Варпака, наблюдался в сумеречно-ночное время. Нарастание численности покатной молоди имело место с наступлением ночи – с 23 до 24 часов местного времени, а резкое уменьшение числа скатывающейся молоди наблюдалось ранним утром – с 4 до 5 часов. Таким образом, находит отражение универсальная закономерность преимущественно ночной ритмики покатной миграции молоди. Днем перемещения рыб

из протоки Варпак в Иртыш происходили с малой интенсивностью. Наблюдения показали, что количество рыб (*Cyprinidae*, *Percidae*, *Esocidae*), скатывающихся в Иртыш из пойменной акватории в 3 раза превышало число особей, проходящих из основного русла. Ход рыб против течения, из Иртыша в Варпак, т.е. на акваторию поймы, носил в течение суток равномерный характер. Абсолютное большинство рыб, перемещавшихся по Варпаку вниз и вверх по течению, было представлено ранней молодью с линейными размерами от 2 до 8 см. В целом перемещения рыб носили неравномерный характер – с периодичностью 2 – 3 ч фиксировали интенсификацию хода рыб. Наиболее массовую размерную когорту рыб, проходивших в протоку, составляли рыбы с длиной тела 6 – 25 см – годовики и двух летки ельца (*Leuciscus leuciscus*), язя (*Leuciscus idus*) и плотвы (*Rutilus rutilus*).

**Пойменное озеро Арынное.** Гидроакустические съемки акватории осуществляли в режиме горизонтального сканирования по сетке галсов в дневное и ночное время. Видовой состав рыбного населения определяли на основе результатов обловов озера ставными сетями и мальковым сачком. Пойманные рыбы подвергались биологическому анализу. Всего было выловлено и проанализировано более 500 экз рыб, в том числе молоди – 98 экз. Сбор полевого материала проводили в июле 2008 г.

Уровень весеннего паводка 2008 года был невысок, поэтому, в период наших исследований рыбное население озера Арынное было представлено преимущественно – серебряным карасем (*Carassius auratus gibelio*) – (98,3%) и небольшим количеством золотого карася (*Carassius carassius*) – (1,7%).

Акватория этого пойменного водоема составляет около 20 га, при средних глубинах 1–2 м. В годы высокого паводка озеро соединяется с руслом Иртыша и, в летне-весенний период происходит его заселение представителями речной ихтиофауны. Однако в течение зимы на озере происходит замор – соответственно, реофильные рыбы погибают и остаются только устойчивые к дефициту кислорода караси. Таким образом, в промежутки между высокими паводками, рыбное население этого водоема представлено лишь одним видом. Характерные эхограммы регистрации рыб комплексом «PanCor» в темное время суток представлены на рис.5.

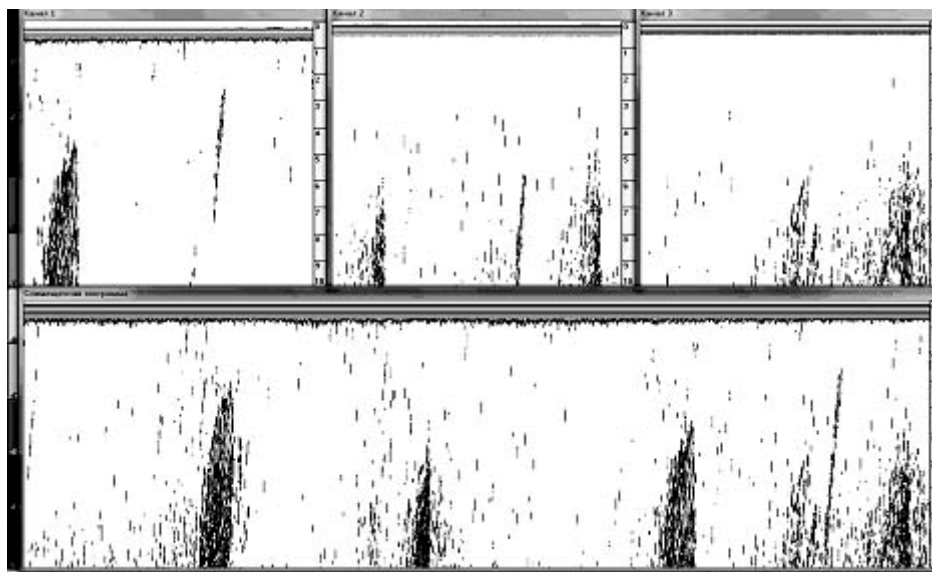


Рис. 5. Характерная эхограмма регистрации разноразмерной рыбы комплексом «PanCor», оз. Арынное, темное время суток.

На планшетах отражен характер размещения рыб на акватории озера Арынное, представлены общая численность и плотность скоплений рыб днем, (рис. 6) и ночью (рис. 7). Караси совершают суточные кочевки, с активным освоением открытых участков озера и формированием больших скоплений в темное время суток.



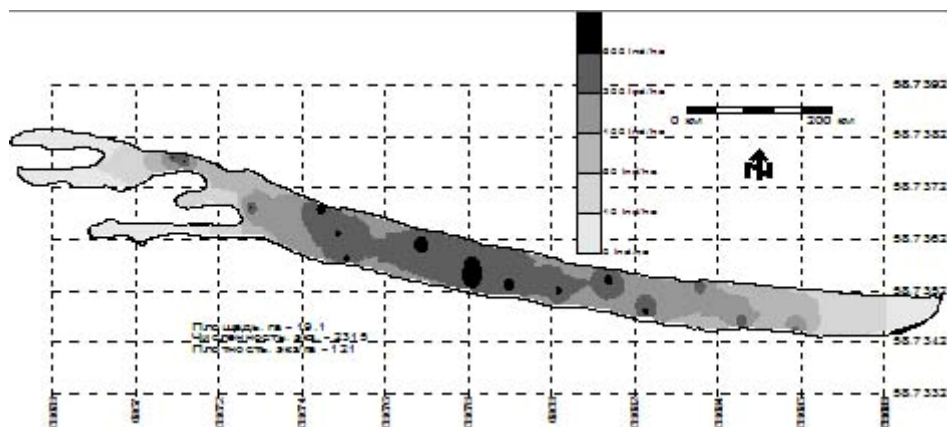


Рис. 6. Планшет дневного распределения рыбы на обследованной акватории оз. Арынное

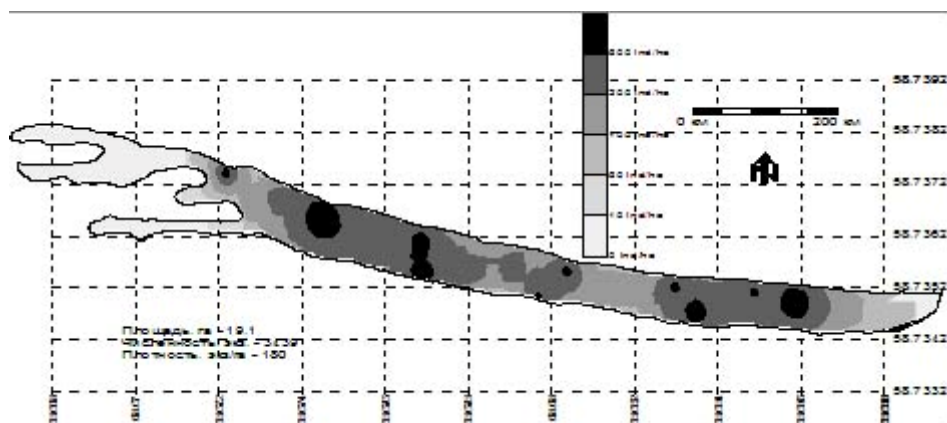


Рис. 7. Планшет ночного распределения рыбы на обследованной акватории оз. Арынное

Согласно результатам гидроакустических съемок популяции карасей, обитающих в этом водоеме, представлена, в основном ранней молодью и сеголетками, а численность относительно крупных особей невелика (рис. 8.).

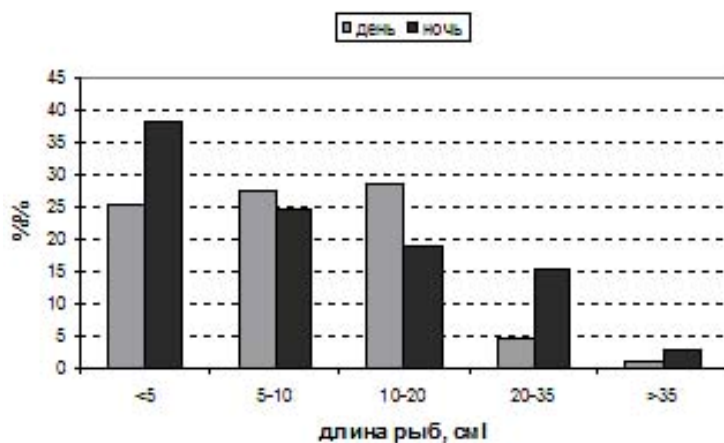


Рис. 8. Размерный состав рыбного населения оз. Арынное

Таким образом, экспериментальные эхометрические съемки, выполненные с помощью высокочастотного многолучевого гидроакустического комплекса «PanCor» в протоке Варпак и пойменном о. Арынное показали уникальные возможности используемой аппаратуры для исследований рыбных ресурсов на мелководных водоемах с глубинами менее 1 м.

## Выводы

Полученные материалы исследований позволили вскрыть закономерности распределения рыб на акваториях мелководных пойменных водоемах, выявить размерный и видовой состав рыбного населения, показать особенности их суточного перераспределения.

## Литература

- Борисенко Э.С. 2008. Измерение силы цели рыб «in situ» с помощью сканирующих гидроакустических систем // Материалы докл. Всероссийской конф. «Гидроакустические исследования на внутренних водоемах», 2–4 декабря 2008 г. Изд. ООО «Принтхаус» 2008. 78 с., с.12–19.
- Иоганзен Б.Г. 1972. // Биологические ресурсы поймы Оби. Новосибирск: Наука. С. 270–291.
- Borisenko E.S, Mochek A.D., Degtev A.I., Pavlov D.S. Hydroacoustic characteristics of mass fishes of Ob-Irtish basin // Journal of Ichthyology; Vol. 46, Suppl. 2. pp.S227–S234. 2006.

## СРАВНЕНИЕ ЛИПИДНЫХ СПЕКТРОВ СЕГОЛЕТОК АТЛАНТИЧЕСКОГО ЛОСОСЯ *Salmo salar* L. ИЗ ДВУХ БИОТОПОВ ПРИТОКА АРЕНЬГА (р. Варзуга, Кольский п-ов)

Д.С. Павлов, З.А. Нефедова, А.Е. Веселов, О.Б. Васильева, Т.Р. Руоколайнен, П.О. Рипатти, Н.Н. Немова  
Учреждение Российской академии наук, Институт биологии Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск;  
e-mail: znefed@krc.karelia.ru

## Введение

Ранее нами описаны условия формирования устойчивых фенотипических групп сеголеток лосося, обитающих в разных типах выростных участков реки Варзуга (Павлов и др., 2007). Были выявлены отличия в накоплении отдельных фракций липидов и жирных кислот в зависимости от местообитания, которые в итоге, к концу лета, отражались на размерно-весовых показателях фенотипических групп сеголеток (Павлов и др., 2008). Можно предположить, что в последующем эти различия усиливаются или модифицируются, влияя на сроки смолтификации. В связи с этим представляет интерес проследить дифференцировку сеголеток (0+) лосося по липидному статусу (состоянию комплекса показателей липидного обмена) возникающую уже в первые две недели после активного расселения и перехода личинок в стадию малька. Липидный статус можно рассматривать как один из механизмов формирования внутривидовой разнокачественности атлантического лосося в протяженных и сложных по геоморфологии реках.

Цель данного исследования состояла в сравнительном изучении липидного статуса сеголеток лосося после распределения их из нерестовых гнезд на места постоянного обитания. Сравнивали липидные спектры сеголеток (0+) лосося, не имеющих к концу июня различий в размерно-весовых характеристиках, но обитающих в двух различных по гидрологическим условиям биотопах притока Ареньга (р. Варзуга). Мальки одной генерации после выклева в главном русле р. Варзуга переместились в устье притока Ареньга, а молодь другой генерации выклюнулась в грунте порогового участка р. Ареньга и скатилась ближе к устью на участок под водопадом.

## Материал и методы

Сбор молоди атлантического лосося с двух участков, расположенных в устье и под водопадом в р. Ареньга (66°32'5 с.ш., 36°15'5 в.д.) осуществляли 22 июня 2006 г с помощью аппарата электролова (Fa-2) норвежского производства.

Индивидуальные пробы сеголеток, по 30 экз. с каждого биотопа, тщательно измельчали и фиксировали 96% этиловым спиртом, затем добавляли смесь хлороформ-метанол (2:1) и хранили до анализа в холодильнике при температуре +4°C (Folch et al., 1957). Выделенные общие липиды (P1) сушили до постоянного веса в эксикаторе над фосфорным ангидридом (P2O5) в холодильной камере (при +4°C). Обезжиренный остаток (P2), включающий белки, углеводы, нуклеиновые кислоты, аминокислоты и микроэлементы, также сушили до постоянного веса, но при комнатной температуре.

Общие липиды разделяли на липидные фракции: суммарные фосфолипиды (ФЛ), триацилглицерины (ТАГ), холестерин (ХС), эфиры холестерина (ЭХС). При этом использовали тонкослойные хроматографические пластинки «Silufol» («Kavalier», Чехия) и систему растворителей: петро-

лейный эфир – серный эфир – уксусная кислота (90:10:1). Количество ФЛ и ТАГ определяли гидроксаматным методом (Сидоров и др., 1972), ХС и ЭХС – по реакции с окрашенным реагентом (Engelbrecht et al., 1974), оценивая в процентах от сухой массы пробы (P1+P2).

Состав индивидуальных фосфолипидов – фосфатидилсерин (ФС), фосфатидилэтаноламин (ФЭА), фосфатидилхолин (ФХ) и лизофосфатидилхолин (ЛФХ) анализировали методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) (Arduini et al., 1996) на стальной колонке Nucleosil 100-7 («Элсико», Москва), используя элюент – ацетонитрил-гексан-метанол-ортофосфорную кислоту (918:30:30:17,5). Детектирование проводили по степени поглощения световой длины волны 206 нм. Соотношение между компонентами оценивали по величинам площадей пиков на хроматограмме.

Содержание жирных кислот (ЖК) общих липидов определяли методом газожидкостной хроматографии в виде их метиловых эфиров после прямой эстерификации в метаноле (Новак, 1978). Разделение проводили на хроматографах «Кристалл 5000» («Хроматек», Йошкар-Ола) с пламенно-ионизационным детектором в капиллярной колонке ZB-FFAP длиной 50 м, с внутренним диаметром 0,32 мм и толщиной слоя жидкой фазы 0,50 мкм.

Достоверность различий выборок оценивали по U-критерию Манна-Уитни (Лакин, 1990).

### Результаты и обсуждение

Оценка липидного статуса сеголеток лосося из двух биотопов притока Ареньга показала отсутствие достоверных различий по содержанию общих липидов, в том числе ХС, ТАГ, суммы насыщенных и моноеновых ЖК. У сеголеток, отловленных под водопадом, по сравнению с устьевыми мальками установлен пониженный уровень ЭХС и повышенный суммарных фосфолипидов, ФС, ФЭА и ФХ, а доля ЛФХ снижена. Все различия достоверны ( $p < 0,05$ ) (табл.). Более высокая (в 2 раза) концентрация ЭХС у сеголеток из устья притока, вероятно, связана с пищевым фактором, так как известно, что в некоторых кормовых объектах рыб содержание ЭХС весьма значительно (Гершанович и др., 1991).

Выявленные различия в фосфолипидных спектрах у сеголеток лосося из двух участков притока Ареньга указывают на участие этих мембранных липидов в адаптивных реакциях рыб, вызванных разными трофо-экологическими условиями обитания, такими как скорость потока, температура воды, видовой состав и доступность кормовых объектов. Известно, что фосфолипиды играют важную роль не только как структурные компоненты биомембран, многие из них (ФЭА, ФХ, ФС, ЛФХ и др.) при определенной концентрации выполняют специфические регуляторные функции в отношении целого ряда мембранных ферментов (Крепс, 1981; Болдырев, 1985; Проказова и др., 1998; Гринштейн, Кост, 2001; Николлс и др., 2008).

У молоди рыб из двух биотопов различен метаболизм полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК). Сеголетки, обитающие в устье р. Ареньга, отличались более высоким уровнем 18:2(n-6) кислоты (табл.), которая характерна для наземных насекомых, способных синтезировать ее *de novo* (Downer, 1985). Известно, что в жирнокислотном спектре насекомых относительно больше ПНЖК (n-6) семейства и меньше ПНЖК (n-3) (Рипатти и др., 2004). Следует отметить, что именно устьевая часть в виде заливного луга имеет благоприятные условия для развития летающих насекомых (воздушной кормовой фракции – имаго и личинок), которые в конце июня составляют значительную долю рациона молоди лосося. У сеголеток, обитающих в биотопе под водопадом, по сравнению с устьевыми, отмечено повышенное содержание суммы ПНЖК, в том числе суммы (n-3) ПНЖК, в основном за счет докозагексаеновой 22:6 (n-3) кислоты (табл.). Этот участок обитания плотно закрыт еловыми деревьями и, как следствие, не имеет условий для массового развития воздушной фракции насекомых. Здесь питание молоди лосося в основном базируется на организмах водных беспозвоночных. Не исключено, что это является одной из причин повышенного содержания суммы ПНЖК (n-3) у сеголеток из порога. Указанные различия по ЖК достоверны ( $p < 0,01-0,001$ ) и, возможно, являются результатом ускоренных процессов элонгации и десатурации пищевых (n-3) ПНЖК у молоди из-под водопада и одним из механизмов биохимической адаптации к данным условиям обитания. Высокое содержание 22:6 (n-3) кислоты в мышцах рыб может быть связано с повышенной двигательной активностью сеголеток у водопада на фоне интенсивного потока воды (Шульман, Яковлева, 1983; Юнева и др., 1987).

**Размерно-весовые характеристики и содержание липидных фракций у сеголеток атлантического лосося в зависимости от мест обитания**

Показатели	Место обитания	
	Ареньга, устье	Ареньга, под водопадом
Количество, экз.	30	30
Длина рыб, см	3,05±0,03	3,10±0,03
Вес рыб, г	0,18±0,02	0,19±0,02
Общие липиды, % сухой массы	9,94±0,26	10,69±0,39
ТАГ, % сухой массы	1,69±0,13	2,02±0,16
ХС, % сухой массы	3,21±0,20	3,15±0,19
ЭХС, % сухой массы	0,46±0,05*	0,22±0,03
ФЛ, % сухой массы	4,59±0,20*	5,30±0,21
ФС, % сухой массы	0,06±0,01*	0,38±0,02
ЛФХ, % сухой массы	1,26±0,10*	0,13±0,02
ФХ, % сухой массы	2,28±0,12*	3,27±0,14
ФЭА, % сухой массы	0,44±0,04*	1,24±0,05
18:2n-6, % суммы ЖК	3,63±0,58*	2,77±0,72
22:6n-3, % суммы ЖК	13,34±1,94*	15,84±1,81
Сумма n-3 ПНЖК, % суммы ЖК	30,54±3,10*	34,09±2,16
Сумма n-6 ПНЖК, % суммы ЖК	5,30±0,73*	4,52±1,02

\* – различия между биотопами «устье» и «под водопадом» достоверны

Таким образом, в липидных спектрах выявлены различия по уровню фосфолипидов и жирных кислот у сеголеток лосося из двух биотопов р. Ареньга. Ведущая роль в формировании липидного статуса молоди рыб принадлежит трофо-экологическим факторам: видовому спектру питания, доступности кормовых объектов, и особенностям гидрологического режима мест обитания.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 08-04-01140-а, 08-04-91771-АФ, Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Биоразнообразие: инвентаризация, функции, сохранение» и гранта Президента РФ НШ № 306. 2008.4.*

### Литература

- Болдырев А.А. 1985. Биологические мембраны и транспорт ионов. М.: МГУ, 1985, 207 с.
- Гершанович А.Д., Лапин В.И., Шатуновский М.И. 1991. Особенности обмена липидов у рыб // Успехи современной биологии, т. 111, вып. 2. С. 207–219.
- Гринштейн С.В., Кост О.А. 2001. Структурно-функциональные особенности мембранных белков // Успехи биологической химии, т. 41. Пушино. С. 77–104.
- Крепс Е.М. 1981. Липиды клеточных мембран. Эволюция липидов мозга. Адаптационная функция липидов. Л.: Наука, 339 с.
- Лакин Г.Ф. 1990. Биометрия. М.: Высшая школа. 352 с.
- Николлс Дж.Г., Мартин А.Р., Валлас Б.Дж., Фукс П.А. 2008. От нейрона к мозгу. М.: ЛКИ, 671 с.
- Новак И. 1978. Количественный анализ методом газовой хроматографии. М.: Мир. 180 с.
- Павлов Д.С., Мещерякова О.В., Веселов А.Е., Немова Н.Н., Лупандин А.И. 2007. Показатели энергетического обмена у молоди атлантического лосося (*Salmo salar* L.), обитающей в главном русле и притоке реки Варзуга (Кольский п-ов) // Вопр. ихтиологии, т. 47, № 6. С. 819–826.
- Павлов Д.С., Нефедова З.А., Веселов А.Е., Немова Н.Н., Руоколайнен Т.Р., Васильева О.Б., Рипатти П.О. 2008. Липидный статус сеголеток атлантического лосося *Salmo salar* L. из разных микробиотопов реки Варзуга // Вопр. ихтиологии, т. 48, № 5. С. 679–685.
- Проказова Н.В., Звездина Н.Д., Коротаева А.А. 1998. Влияние лизофосфатидилхолина на передачу трансмембранного сигнала внутрь клетки // Биохимия, т. 63, вып. 1. С. 38–46.
- Рипатти П.О., Карпова С.Г., Маркова Л.В., Руоколайнен Т.Р., Нефедова З.А. 2004. Содержание линолевой кислоты в фосфолипидах и фотопреферентное поведение таракана *Nauphoeta cinerea* (Blattoptera, Blaberidae) // Зоол. журн., т. 83. № 10. С. 1237–1243.
- Сидоров В.С., Лизенко Е.И., Болгова О.М., Нефедова З.А. 1972. Липиды рыб. 1. Методы анализа. Тканевая специфичность ряпушки *Coregonus albula* L. // Лососевые (Salmonidae) Карелии. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР. Вып. 1. С. 152–163.
- Шульман Г.Е., Яковлева К.К. 1983. Гексаеновая кислота и естественная подвижность рыб // Журн. общей биол., т. 44, № 4. С. 529–540.

Юнева Т.В., Шульман Г.Е., Чебанов Н.А., Щепкина А.М. 1987. Содержание докозогексаеновой кислоты в липидах самцов горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* в период нереста // Журн. эвол. биохим. и физиол., т. 23, № 6. С. 707–710.

Arduini A., Pescechera A., Dottori S., et al. 1996. High performance liquid chromatography of long-chain acylcarnitine and phospholipids in fatty acid turnover studies // J. Lipid Res., v. 37, № 2. P. 684–689.

Downer R.G.H. 1985. Lipid metabolism // Comprehensive insect physiology, biochemistry and pharmacology (Biochemistry), vol. 10. P. 77–113.

Engelbrecht F.M., Mari F., Anderson J.T. 1974. Cholesterol determination in serum. A rapid direction method // S.A. Med. J., v. 48, № 7. P. 250–356.

Folch J., Lees M., Sloane Stanley G.H. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues // J. Biol. Chem., v. 226, № 5. P. 497–509.

## О ЛЕТНЕМ ИХТИОПЛАНКТОНЕ ДВИНСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ

Л.В. Парухина

Северный филиал ПИНРО, г. Архангельск, Россия

e-mail: luda@sevpinro.ru

Северным филиалом ПИНРО в течение ряда лет выполнялись наблюдения за ихтиопланктоном Белого моря. Исследованиями была охвачена значительная часть акватории моря, включая Двинский залив. Информация о личинках и икринках рыб, обитающих в этом районе, в литературе весьма скудна. В настоящей работе представлены данные о структуре ихтиопланктонного сообщества, приводятся некоторые сведения о доминирующих видах, распределении и численности личинок и икринок рыб в этом заливе Белого моря в летний период.

### Материал и методы

В работе использован материал по ихтиопланктону, собранный в период конца мая – первой декады июля 2002–2008 гг. в Двинском заливе Белого моря. Сборы проводились преимущественно у Летнего берега и в районе о. Мудьюг, а также в Яндовой губе, расположенной в предустьевой части реки Северная Двина (рис. 1). Ихтиопланктон отбирался икорными сетями ИКС-80 и ИКС-50 методом горизонтальных ловов в течение 5–10 минут у поверхности воды и в толще, на глубине 10 м. Всего проанализировано 147 проб, в том числе 59 из Яндовой губы. Расчет плотности на 100 м<sup>3</sup> сделан с учетом коэффициентов уловистости сетей (0,62 и 0,9).

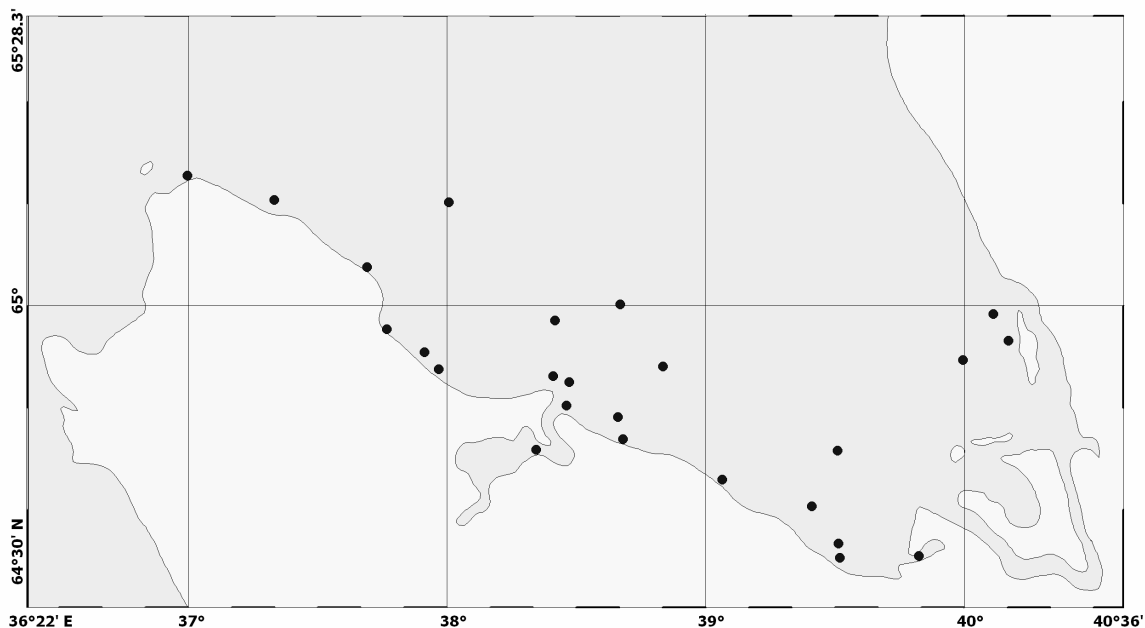


Рис. 1. Объединенная схема ихтиопланктонных станций, выполненных в Двинском заливе Белого моря в 2002–2008 гг.

## Результаты и обсуждение

В ихтиопланктоне Двинского залива в указанный период 2002–2008 гг. отмечено 16 видов рыб, относящихся к 11 семействам (табл. 1). В уловах икорной сети встречались также взрослые особи трехиглой колюшки.

Таблица 1

### Видовой состав ихтиопланктона Двинского залива в летний период 2002–2008 гг.

Вид (по: Андрияшев, Чернова, 1994)	Стадия развития
CLUPEIDAE Сельдь беломорская <i>Clupea pallasii marisalbi</i> Berg, 1923	Личинки
OSMERIDAE Корюшка азиатская <i>Osmerus sp. mordax dentex</i> Steindachner, 1870 Мойва <i>Mallotus villosus villosus</i> (Muller, 1776)	Личинки Личинки, мальки
GADIDAE <i>Gadus morhua marisalbi</i> (Derjugin, 1920) беломорская треска <i>Eleginus navaga</i> (Pallas, 1814) – навага	Икра Личинки
GASTEROSTEIDAE Колюшка девятииглая <i>Pungitius pungitius</i> (Linnaeus, 1758)	Мальки
COTTIDAE Керчак европейский <i>Myoxocephalus scorpius scorpius</i> (Linnaeus, 1758) Арктический шлемоносный бычок <i>Gymnocanthus tricuspis</i> (Reinhardt, 1831)	Личинки Тоже
CYCLOPTERUS <i>Cyclopterus lumpus</i> Linnaeus, 1758 - пинагор	Малек
LIPARIDAE Чернобрюхий липарис <i>Liparis fabricii</i> Kroyer, 1847 Липарис неопр. <i>Liparis sp.</i>	Личинки Тоже
LUMPENIDAE Люмпен Фабриция <i>Lumpenus fabricii</i> (Kroyer, 1847) Люмпен неопр. <i>Lumpenus sp.</i>	Личинки Тоже
PHOLIDAE Маслюк атлантический <i>Pholis gunnelus</i> (Linnaeus, 1758)	Личинки
AMMODYTIDAE Европейская многопозвонковая песчанка <i>Ammodytes marinus</i> Raitt, 1934	Личинки
PLEURONECTIDAE Полярная камбала <i>Liopsetta glacialis</i> (Pallas, 1776) Ершоватка <i>Limanda limanda</i> (Linnaeus, 1758) Речная камбала <i>Platichthys flesus</i> (Linnaeus, 1758)	Личинки Икра Икра, личинки

Основу ихтиопланктонного сообщества данного района в начале лета составляли личинки четырех видов – песчанки, беломорской сельди, речной камбалы и, особенно в последние годы – мойвы. Эти виды встречались в пробах чаще других (табл. 2). В узкой прибрежной полосе Яндовой губы, в зоне выноса речных вод, вылавливались также личинки корюшки.

Что касается личинок раннего выклева, таких как: навага, керчак, арктический шлемоносный бычок-гимнакант, липарисы, люмпенус, то они отмечались только во время майской съемки 2003 г. Мальки пинагора, девятииглой колюшки, личинки маслюка единично попадали в первой декаде июня 2008 г.

В июне-июле обычным компонентом ихтиопланктона в Двинском заливе являлись также икринки камбаловых рыб – ершоватки и речной камбалы. Они были распространены в прибрежной части вдоль всего Летнего берега, но в большей степени сосредоточены в вершине залива. На отдельных станциях их концентрация доходила до 622,6 шт./100 м<sup>3</sup> (вблизи впадения реки Сюзьма).

В мае 2003 г. и, единично – в первой декаде 2008 г., встречалась также икра беломорской трески, преимущественно поздних стадий развития. Считается, что нереста трески в Двинском заливе нет, икра выносится сюда с нерестилищ, расположенных у о-ва Жижгин и возле восточной части Соловецких островов. Так, на станции, расположенной неподалеку от этих районов, 21 мая 2003 г. концентрация икринок трески на глубине 10м составила 168,3 шт./100 м<sup>3</sup>.

Таблица 2

**Частота встречаемости личинок и икринок рыб в Двинском заливе Белого моря в 2002-2008 гг. (% от общего кол-ва проб, без учета данных по Яндовой губе)**

Вид	2002 07.06	2003 20–21.05	2003 23.06	2004* 08–09.07	2006 7–10.07	2007 11–12.06	2008 10.06
<i>Личинки и мальки:</i>							
Сельдь беломорская	18,2	16,7	66,7	33,3	19,2	25,0	29,4
Мойва	–	16,7	–	–	34,6	10,0	5,9
Корюшка азиатская	–	–	16,7	–	–	5,0	5,9
Навага	–	33,3	–	–	–	–	–
Колюшка девятиглая	–	–	–	–	–	–	11,6
Керчак европейский	–	33,3	–	20,0	–	–	–
Бычок - гимнаконт	–	16,7	–	–	–	–	–
Пинагор	–	–	–	–	–	–	5,9
Липарис чернобрюхий	–	16,7	–	–	–	–	–
Люмпенус неопр.	–	16,7	–	–	–	–	–
Маслюк	–	–	–	–	–	–	5,9
Песчанка	9,1	33,3	16,7	–	11,5	45,0	58,8
Камбала речная	18,2	–	16,7	–	3,8	15,0	5,9
<i>Икринки:</i>							
Треска беломорская	–	83,3	–	–	–	–	23,5
Сем. Камбаловые	–	–	100	–	80,8	80,0	29,4

\* – материал малочисленный

**Песчанка.** В ихтиопланктоне Двинского залива личинки этого вида присутствовали постоянно, за исключением начала июля 2004 г. Массовый выклев происходит чаще всего в мае и связан, как и у прочих видов, с весенним прогревом вод. По данным К.А. Алтухова, (1978), наиболее обильные уловы были зарегистрированы в Двинском заливе 24 мая 1949 г. в устьевой части Унской губы, где на 1 лов приходилось до 14432 экз. личинок.

Столь высокие концентрации личинок песчанки в период наших исследований зафиксированы не были, что связано, прежде всего, со сроками проведения съемок. Ко времени их начала, как правило, основной выклев личинок был уже закончен, и в заливе встречались только единичные экземпляры. Лишь в 2008 г., когда наблюдалась затяжная весна, и вода в первой декаде июня была недостаточно прогрета, на отдельных станциях вылавливались десятки личинок (до 43 штук за лов). Такие уловы были отмечены в открытой части губы на выходе из Унской губы и в губе Тракторной, расположенной на Летнем берегу залива недалеко от мыса Горболукского.

Интересно отметить, что в 2007 и 2008 гг. в заливе наблюдалось, по меньшей мере, две генерации личинок песчанки, что хорошо видно на рисунке, отражающем их размерный состав (рис. 2).

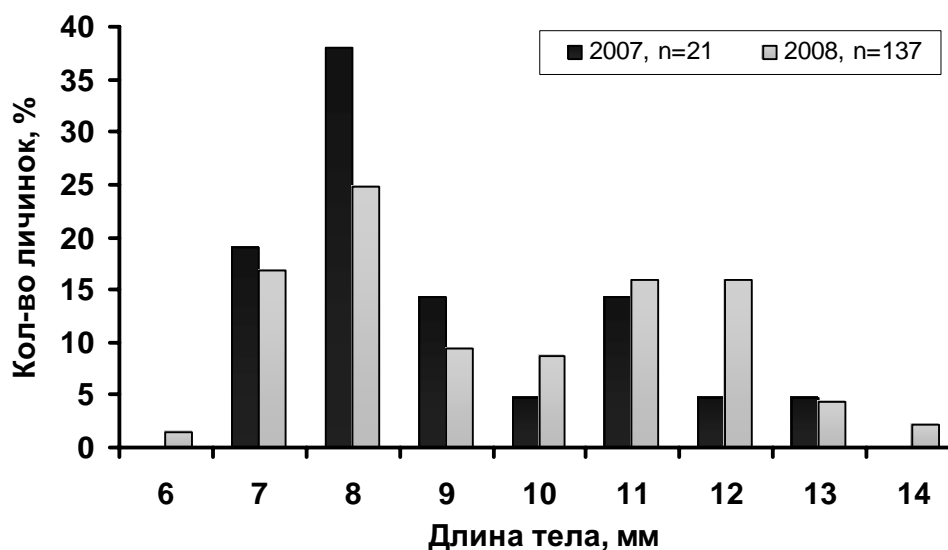


Рис. 2. Размерный состав личинок песчанки в Двинском заливе Белого моря в июне 2007 и 2008 гг.

**Сельдь беломорская.** Личинки отмечались во время съемок ежегодно, однако чаще всего в большом количестве или единично. Встречались обычно в районе Унской губы и выхода из нее, а также в вершинной части залива – у реки Солза и прилегающих к ней водах. Ловились также в губе Тракторной, у мыса Никольского, возле Яреньги и у о-ва Мудьюг. Наиболее представительны оказались пробы, отобранные в предустьевой части Северной Двины, в Яндовой губе, в первых числах июля 2004 г. и в начале второй декады июня 2005 г. В 2004 г. численность личинок сельди в этом районе составляла от 0,4 до 1288,0 экз/100 м<sup>3</sup>, 21 июня 2005 г. – от 140 до 885 экз/100 м<sup>3</sup>. Характерно, что в прибрежной части залива в летний период встречаются как недавно выклюнувшиеся, длиной менее 6 мм, так и подросшие личинки длиной около 15 мм, что является следствием растянутого нереста сельди (рис. 3).

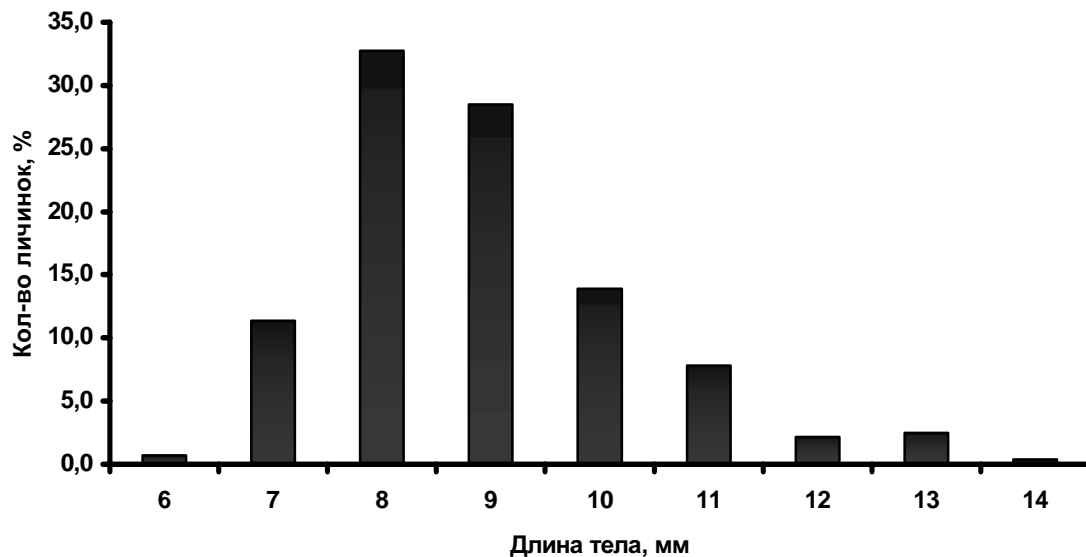


Рис. 3. Размерный состав личинок беломорской сельди в вершине Двинского залива Белого моря в июле 2004 г., n=281

Известно, что беломорская сельдь нерестится в Двинском заливе позже, чем в остальных заливах Белого моря. Количество и интенсивность подходов зависят в первую очередь от гидрометеорологических условий конкретного года. Обычно нерест в этих районах начинается после выноса льда, чаще всего со второй половины мая (Гошева, 1970). Условия года оказывают определяющее влияние как на сроки выклева, так и на выживаемость личинок. Как показали наши наблюдения в Яндовой губе в 2004–2008 гг., годы с относительно высокой численностью личинок чередуются с «бедными», когда в пробах отмечаются лишь единичные экземпляры.

По материалам К.А. Алтухова (1990), наибольшие плотности личинок сельди в Двинском заливе были отмечены в Унской губе 24 мая 1949 г. Однако в 60-е годы произошла массовая гибель основного нерестового субстрата сельди – травы zostеры, что привело к существенному изменению условий воспроизводства этого вида. Очевидно, что к настоящему времени назрела необходимость оценки современного состояния нерестилищ сельди в Двинском заливе.

**Мойва.** В ходе наших работ до 2006 г. личинки в пробах практически не встречались, только в последней декаде мая 2003 г. был пойман один малек мойвы длиной 34 мм (до конца тела) в вершинной части Двинского залива. В начале июля 2006 г. личинки со средней длиной тела 5,6 мм часто отмечались в Унской губе, а также вдоль Летнего берега ближе к устью Северной Двины. Так, в районе впадения реки Сюзьма их концентрация составила 48,4 экз/100 м<sup>3</sup>, у реки Солза – 28,0 экз/100 м<sup>3</sup>.

В первой декаде июня 2007 и 2008 гг. попадали единично.

Появление личинок мойвы в ихтиопланктоне в сравнительно высоких концентрациях в последние годы обусловлено, в первую очередь, повышением численности этого вида в Баренцевом море. В такие периоды, как правило, возрастает и количество мойвы, нерестящейся в Белом море.

**Корюшка.** Личинки ловились только в вершине Двинского залива, на небольших глубинах в прибрежной части Яндовой губы в середине июня – первой декаде июля. Наибольшие плотности наблюдались 1–2 июля 2004 г. – от 2,8 до 1465,7 экз/100 м<sup>3</sup> на отдельных станциях. Размерный ряд личинок довольно широк, от 6 до 14 мм, и указывает на существование нескольких нерестовых подходов корюшки в этом районе.



**Камбала речная.** Встречались преимущественно икринки, наряду с икринками ершоватки. Личинки были отмечены в основном в вершине залива: в районе впадения реки Солза, в Яндовой губе, а также, единично, у Красной Горы и на выходе из Унской губы. Так, 11 июня 2007 г. в районе Солзы было выловлено 40 личинок речной камбалы длиной от 2,8 до 3,9 мм. Большая их часть держалась у поверхности воды, несколько личинок было поймано на глубине 10 м.

Следует отметить, что по данным ихтиопланктонных съемок, численность личинок в Двинском заливе в целом была невысока. Уловы не превышали нескольких десятков экземпляров, но зачастую составляли менее десяти особей или были единичны. Исключение представляют пробы, отобранные в Яндовой губе, расположенной возле устья Северной Двины. Здесь в отдельные годы наблюдались значительно более высокие концентрации личинок беломорской сельди, корюшки и речной камбалы, и общая величина уловов на некоторых станциях приближалась к 3000 личинок.

### Выводы

В составе ихтиопланктона Двинского залива в период третьей декады мая – первой половины июля встречаются икринки и личинки не менее 16 видов рыб из 11 семейств.

К числу доминирующих видов в данном заливе Белого моря относятся: песчанка, массовый выклев личинок которой происходит в мае, иногда с конца апреля; беломорская сельдь, речная камбала и, особенно с 2006 г. – мойва.

Концентрация личинок более высока в прибрежной мелководной части. В первую очередь это относится к личинкам беломорской сельди, которые вскоре после выклева держатся в зоне нерестилищ. Также в основном в прибрежье, недалеко от мест ската из рек, встречаются личинки корюшки.

К массовым компонентам ихтиопланктона Двинского залива можно отнести икринки двух видов камбаловых рыб: ершоватки и речной камбалы.

В целом ихтиопланктонное сообщество Двинского залива в период исследований характеризовалось невысокими показателями численности, за исключением Яндовой губы в отдельные годы.

Для получения более полной картины воспроизводства беломорской сельди в Двинском заливе в настоящее время, уточнения мест концентрации ее личинок, требуется оценка современного состояния нерестилищ этого важного в промысловом отношении вида.

### Литература

Алтухов К.А., 1978. О размножении и численности песчанки *Ammodytes marinus* Raitt в Белом море // Вопр. ихтиологии. Т. 18, вып. 4(111). С. 642–649.

Алтухов К.А., 1990. К биологии ранних стадий развития сельди *Clupea pallasii marisalbi* Berg Двинского и Онежского заливов Белого моря // Итоги изучения беломорской сельди. Труды ЗИН. Т. 227. С. 84–90.

Гошева Т.Д., 1970. Нерестилища беломорской сельди // Материалы рыбохозяйственных исследований Северного бассейна. Вып. XIII. Мурманск: ПИНРО. С. 76–83.

## ABOUT SUMMER ICHTHYOPLANKTON OF THE DVINSKY BAY OF THE WHITE SEA

L. V. Parukhina

Northern branch of PINRO, Arkhangelsk, Russia

e-mail: luda@sevpinro.ru

Some data on the ichthyoplankton structure, dominant species, fish larvae and eggs abundance and distribution in the Dvinsky Bay of the White Sea are presented. Samples were collected in the summer period, mainly in July, 2002–2008 using a standard 50 or 80 cm diameter egg nets. Overall, 16 species of fish larvae and eggs from 11 families were identified. Larvae of the northern sand lance *Ammodytes marinus*, the White Sea herring *Clupea pallasii marisalbi*, the flounder *Platichthys flesus* and, especially from 2006 – the capelin *Mallotus villosus* prevailed in the ichthyoplankton composition. The eggs of two members of place family: the flounder *Platichthys flesus* and the dab *Limanda limanda* were also found relatively abundant in summer period. In general, larval concentrations in Dvinsky Bay exhibited rather low values during the sampling periods, except the Yandovay inlet in some years. It is desirable that the modern state of *Clupea pallasii marisalbi* spawning grounds in this region of the White Sea should be estimated.

# ВЛИЯНИЕ НАКОПЛЕННОЙ РТУТИ НА ГИДРОЛИЗ УГЛЕВОДОВ В КИШЕЧНИКЕ ОКУНЯ ИЗ ВОДОЕМОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ С РАЗЛИЧНЫМ УРОВНЕМ pH ВОДЫ

Г. А. Пенькова

Учреждение Российской академии наук Институт биологии внутренних вод  
им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Ярославская обл., Россия  
e-mail: gusev.sun@mail.ru

В настоящее время водоемы северо-западной части России испытывают значительные антропогенные нагрузки. Ртуть рассматривается как один из самых опасных элементов, оказывающих токсическое действие на гидробионтов. Высокие уровни накопления ртути (1–3 мг/кг) неоднократно регистрировались в мышцах рыб из водоемов Северо-Запада России (Степанова, Комов, 2002). Доминирующим фактором в повышении биодоступности ртути при очень низком содержании ее в абиотических компонентах системы является закисление воды. Попадая с атмосферными осадками в те водоемы, где низкие значения pH создают благоприятные условия для интенсивного протекания процессов метилирования, и пройдя по трофической цепи, ртуть аккумулируется в мышцах рыб в концентрациях, значительно превышающих содержание металла в воде (Степанова, Комов, 2002). Накопление ртути вызывает значительные изменения белкового, пептидного и липидного обменов (Немова, 2005), вследствие чего снижается темп роста рыб, нарушаются процессы созревания гонад, воспроизводства. В организм рыб она поступает преимущественно с пищей, однако действие этого металла на пищеварительные ферменты рыб в настоящее время изучено крайне слабо, причем имеющиеся сведения касаются главным образом неорганической формы ртути (Sasthy, Gupta, 1980). Вместе с тем ртуть, поступающая в организм пресноводных рыб, преимущественно находится в более токсичной и легко аккумулируемой метилированной форме. При ацидификации водоемов уровень аккумуляции ртути в тканях рыб существенно возрастает, а её содержание в кишечнике приближается к максимальному, отмеченному для мышечной ткани (Степанова, Комов, 2002). Поскольку углеводы играют важную роль в энергетическом и пластическом обмене организма, для оценки физиолого-биохимического состояния рыб особую актуальность представляет изучение влияния накопленной в организме ртути на гидролиз углеводных компонентов корма в кишечнике рыб.

В связи с тем, что окунь *Perca fluviatilis* L. часто является единственным видом, обитающим в озерах с pH воды < 4.5, цель работы состояла в изучении влияния накопленной ртути на активность карбогидраз и кинетические характеристики гидролиза углеводов в кишечнике окуня из водоемов Европейской части России с нейтральным и кислым значением pH воды.

Рыбы отловлены в летне-осенний период 2005–2007 г.г. из водоемов Европейской части России, расположенных на территории Вологодской, Новгородской, Рязанской, Псковской, Ярославской областей и республики Карелия. Масса окуней из водоемов с нейтральным значением pH воды составляла 80–130 г, длина тела 16–19 см, из кислых водоемов – 20–54 г и 11–16 см соответственно. Для определения ферментативной активности использовали суммарные гомогенаты слизистой оболочки кишечника от 9–20 рыб, приготовленные на растворе Рингера для холоднокровных животных (110 mM NaCl, 1,9 mM KCl, 13 mM CaCl<sub>2</sub>, pH 7,4). Активность ферментов определяли при 20°C, pH 7.4. Активность карбогидраз: амилалитическую активность (АА), отражающую суммарную активность  $\alpha$ -амилазы КФ 3.2.1.1, глюкоамилазы КФ 3.2.1.3 и мальтазы КФ 3.2.1.20, и активность сахаразы КФ 3.2.1.48 определяли модифицированным методом Нельсона (Уголев, Иезуитова, 1969). Кинетические характеристики гидролиза крахмала и сахарозы – значения константы Михаэлиса (Km) и максимальной скорости реакции (Vmax) определяли графическим методом Лайнуивера-Берка, строя для каждой повторности графики зависимости скорости ферментативной реакции от концентрации субстрата в координатах двойных обратных величин. Результаты представлены в виде средних и их ошибок ( $M \pm m$ ). Достоверность различий оценивали с помощью дисперсионного анализа (ANOVA, LSD тест) при  $p = 0.05$ .

**Водоемы с нейтральным значением pH воды.** Минимальный уровень накопления ртути в мышечной ткани 0.08 мг/кг отмечен у рыб из оз. Татарское, максимальный 0.29 мг/кг – у окуней из оз. Полистовское (см. табл.).

**Активность карбогидраз и кинетические характеристики гидролиза углеводов (Km) в кишечнике окуня с различным содержанием ртути в мышечной ткани из водоемов с нейтральным (pH 6.8–7.8) и кислым (pH 4.5–5) значением pH воды**

Водоем	Hg в мышцах, мг/кг	Активность карбогидраз, мкмоль/(г·мин)		Km гидролиза	
		АА	сахараза	крахмала, г/л	сахарозы, ммоль
<b>pH воды 6.8–7.8:</b> оз. Татарское, Рязанская обл.	0.08 ± 0.02 <sup>a</sup>	1.45 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.17 ± 0.02 <sup>a</sup>	1.4 ± 0.2 <sup>a</sup>	13.8 ± 0.16 <sup>a</sup>
оз. Валдай, Новгород. обл.	0.10 ± 0.02 <sup>a</sup>	1.40 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.53 ± 0.03 <sup>b</sup>	2.3 ± 0.1 <sup>b</sup>	18.6 ± 0.12 <sup>a</sup>
оз. Белое, Вологод. обл.	0.11 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.66 ± 0.05 <sup>b</sup>	0.76 ± 0.02 <sup>b</sup>	3.9 ± 0.1 <sup>b</sup>	2.4 ± 0.6 <sup>b</sup>
Моложский плес Рыбинск. в-ща, Ярослав. обл.	0.21 ± 0.01 <sup>b</sup>	1.55 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.43 ± 0.02 <sup>b</sup>	3.1 ± 0.2 <sup>b</sup>	4.3 ± 0.1 <sup>b</sup>
оз. Полистовское, Псковская обл.	0.29 ± 0.01 <sup>b</sup>	2.68 ± 0.17 <sup>b</sup>	0.29 ± 0.02 <sup>г</sup>	3.2 ± 0.28 <sup>b</sup>	9.4 ± 0.5 <sup>a</sup>
<b>pH воды 4.5–5.0:</b> оз. Роговское, Новгород. обл.	0.18 ± 0.02 <sup>a</sup>	2.17 ± 0.08 <sup>a</sup>	0.46 ± 0.01 <sup>a</sup>	2.5 ± 0.1 <sup>a</sup>	2.1 ± 0.1 <sup>a</sup>
оз. Вегарусъярви, Карелия	0.26 ± 0.02 <sup>b</sup>	1.66 ± 0.05 <sup>b</sup>	0.87 ± 0.09 <sup>b</sup>	4.2 ± 0.2 <sup>b</sup>	4.1 ± 0.3 <sup>b</sup>
оз. Дубровское, Вологод. обл.	0.33 ± 0.04 <sup>b</sup>	1.96 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.54 ± 0.02 <sup>b</sup>	2.9 ± 0.2 <sup>a,b</sup>	—
оз. Чудское, Новгород. обл.	0.36 ± 0.04 <sup>b</sup>	2.03 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.36 ± 0.01 <sup>г</sup>	3.3 ± 0.1 <sup>b</sup>	2.6 ± 0.1 <sup>b</sup>
оз. М. Горецкое, Новгород. обл.	0.49 ± 0.02 <sup>b</sup>	1.52 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.28 ± 0.01 <sup>д</sup>	4.5 ± 0.1 <sup>b,г</sup>	2.8 ± 0.1 <sup>b</sup>
оз. Б. Горецкое, Новгород. обл.	0.86 ± 0.15 <sup>г</sup>	2.24 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.24 ± 0.02 <sup>д</sup>	3.5 ± 0.1 <sup>b</sup>	5.6 ± 0.2 <sup>г</sup>

*Примечание.* Разные надстрочные индексы в столбце указывают на статистически достоверные отличия показателей внутри группы рыб из водоемов с нейтральным или кислым значением pH,  $p < 0.5$ .

У рыб с большим накоплением ртути АА достоверно выше, для сахаразы подобной закономерности не выявлено. Изменения V<sub>max</sub> гидролиза крахмала и сахарозы совпадают с изменениями активности соответствующих ферментов. Самые низкие значения Km гидролиза крахмала отмечены у рыб с минимальным накоплением ртути. Увеличение содержания ртути в мышцах сопровождается ростом значений этого показателя в 1.5–2 раза, что свидетельствует о снижении фермент-субстратного сродства. В то же время, наиболее высокие значения Km гидролиза сахарозы отмечены у рыб с наименьшим накоплением ртути. Повышение содержания ртути сопровождается достоверным снижением значений Km, что отражает увеличение сродства ферментов к субстрату и свидетельствует об адаптивных изменениях этого показателя у рыб при повышении содержания ртути в организме.

**Водоемы с кислым значением pH воды.** Если в водоемах с нейтральным значением pH воды уровень накопленной в мышцах ртути не превышал 0.29 мг/кг, то у окуня из кислых озер Новгородской обл. он достигал 0.86 мг/кг (оз. Большое Горецкое). С ростом содержания ртути активность сахаразы достоверно снижалась в 1.2–1.8 раза. Достоверное снижение уровня АА отмечено лишь при содержании ртути в мышцах 0.26 и 0.49 мг/кг у окуня из оз. Вегарусъярви и оз. Малое Горецкое. Изменение Km гидролиза крахмала и сахарозы в зависимости от содержания ртути в мышцах носит нелинейный характер. Максимальные значения Km гидролиза крахмала отмечены у окуня из оз. Вегарусъярви и оз. Дубровское при содержании ртути 0.26 и 0.33 мг/кг, Km гидролиза сахарозы – у рыб из оз. Большое Горецкое. Таким образом, уровень активности карбогидраз у окуня из водоемов с нейтральным и кислым значением pH воды довольно близок: АА варьирует от 1.4 до 2.7 мкмоль/(г·мин), активность сахаразы – от 0.2 до 0.9 мкмоль/(г·мин). В то же время динамика изменения сродства ферментов к субстрату (о котором судят по изменению Km) с ростом содержания ртути в мышцах рыб из водоемов с разным значением pH воды различна. Действительно, у рыб из водоемов с нейтральным значением pH воды значения Km гидролиза крахмала возрастают, а Km гидролиза сахарозы снижаются с ростом содержания ртути в мышцах, в то время как у окуня из кислых водоемов такой зависимости не выявлено.

Кроме того, на примере одноразмерных окуней (средняя длина 12.5 см, масса 30 г) из кислотных озер Новгородской области (Роговское, Чудское и М. Горьцкое) проведен дополнительный анализ зависимости активности карбогидраз и кинетических характеристик гидролиза крахмала и сахарозы от уровня накопления ртути в тканях кишечника. Содержание ртути в кишечнике рыб составляло 0.02, 0.05 и 0.09 мг/кг и положительно коррелировало с содержанием металла в мышечной ткани 0.18, 0.36 и 0.49 мг/кг влажной массы ткани у рыб из озер. Роговское, Чудское и М. Горьцкое соответственно. У рыб данной выборки по мере увеличения накопления ртути отмечено достоверное снижение АА и активности сахарозы в слизистой оболочке кишечника в 1.4–1.6 раза. Сравнение кинетических характеристик гидролиза крахмала позволило выявить прямую, а гидролиза сахарозы – обратную корреляцию между величиной  $K_m$  и уровнем накопления ртути в кишечнике окуня. Повышение содержания ртути сопровождалось увеличением значений  $K_m$  гидролиза крахмала в 1.3–1.8 раза. Значения  $K_m$  гидролиза сахарозы снижались в 1.4 раза, что свидетельствует о повышении фермент-субстратного сродства и адаптивных изменениях этого показателя.  $V_{max}$  гидролиза крахмала в кишечнике окуня с увеличением содержания ртути снижались не более чем в 1.2 раза, гидролиза сахарозы – повышалась в 1.6 раза. Важно отметить, что содержание ртути в кишечнике окуня исследованных кислотных озер не превышало 20% от содержания ртути в мышцах. Ранее, у окуня из озер с нейтральным значением pH воды, содержание ртути в кишечнике которых не превышало 25% ее содержания в мышцах, были отмечены аналогичные изменения уровня АА и кинетических характеристик гидролиза крахмала. В то же время у окуня из кислотных озер Вологодской обл., содержание ртути в кишечнике которых достигало 80% ее содержания в мышцах, отмечено увеличение сродства ферментов к субстрату при увеличении содержания ртути в организме, имеющее адаптивный характер (Голованова, Комов, 2005).

Установлено, что ионы Hg вызывают разнонаправленные изменения активности многих тканевых ферментов рыб, в том числе и внутриклеточных протеолитических ферментов и ферментов углеводного обмена (Немова, 2005). Хлорид Hg (0.3 мг/л) ингибирует активность ряда пищеварительных ферментов (амилазы, мальтазы, лактазы, липазы и трипсина) в кишечнике мешкожаберного сома *Heteropneustes fossilis*, но не изменяет активность мальтазы и лактазы в желудке, пилорических придатках и кишечнике пятнистого змееголова *Channa punctatus* (Sastri, Gupta, 1978). Изучение действия Hg, содержащейся в корме природного происхождения, на активность ферментов, обеспечивающих гидролиз белков и углеводов у различных гидробионтов (рыб, дафний, личинок хирономид) выявило разнонаправленное действие металла на ферменты цепи карбогидраз и протеаз у одного и того же вида, а также зависимость величины и направленности эффекта от вида гидробионтов и условий эксперимента (Голованова и др., 2002).

Таким образом, анализ активности карбогидраз и кинетических характеристик гидролиза дисахаридов у окуней из водоемов с различным уровнем pH воды выявил разнонаправленные изменения изученных показателей по мере накопления ртути в организме. Значения  $K_m$  гидролиза сахарозы у рыб из кислотных озер, отличающихся более высоким уровнем накопленной в организме ртути, могут быть в 4–9 раз ниже (сродство ферментов к субстрату выше), чем у окуня из водоемов с нейтральным уровнем pH воды, что, по всей вероятности, позволяет частично компенсировать неблагоприятное влияние факторов среды на скорость переваривания и усвоения углеводных компонентов пищи. Адаптивные изменения сродства ферментов к субстрату при повышении содержания ртути выявлены лишь для мембранного фермента сахарозы. При этом установлено, что содержание ртути в кишечнике рыб в большей мере, чем в мышечной ткани, определяет характер изменений кинетических характеристик гидролиза углеводов.

*Автор выражает глубокую признательность В. А. Гремячих за определение содержания ртути.*

### Литература

- Голованова И. Л., Комов В. Т. 2005. Влияние ртути на гидролиз углеводов в кишечнике речного окуня *Perca fluviatilis* // *Вопр. ихтиологии*. Т. 45. № 5. С. 695–701.
- Голованова И. Л., Комов В. Т., Кузьмина В. В. 2002. Влияние повышенного содержания ртути в корме на активность карбогидраз и протеиназ у различных гидробионтов // *Биология внутр. вод*. № 1. С. 85–89.
- Степанова И. К., Комов В. Т. 2002. Биоценоотические закономерности накопления ртути в рыбе внутренних водоемов // *Экология*. № 4. С. 317–318.
- Немова Н. Н., 2005. Биохимические эффекты накопления ртути у рыб. М.: Наука. 164 с.
- Уголев А. М., Иезуитова Н. Н. 1969. Определение активности инвертазы и других дисахаридаз // *Исследование пищеварительного аппарата у человека*. Л.: Наука. С. 192–196.

Sastry K.V., Gupta P.K. 1978. In vitro inhibition of digestive enzymes by heavy metals and their reversal by chelating agent: Part I. Mercuric chloride intoxication // Bull. Environ. Contam. Toxicol. V. 20, №. 6. P. 729–735.

Sastry K. V., Gupta P. K. 1980. Changes in the activities of some digestive enzymes of *Channa punctatus*, exposed chronically to mercuric chloride // J. Environ. Sci. Health. V. 15, № 1. P. 109–120.

### **EFFECT OF ACCUMULATED MERCURY ON CARBOHYDRATES HYDROLYSIS IN THE PERCH INTESTINE FROM THE EUROPEAN RUSSIA WATER RESERVOIRS WITH DIFFERENT WATER pH LEVELS**

**G.A. Pen'kova**

Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences,  
Borok, Yaroslavl reg., Russia, e-mail: gusev.sun@mail.ru

Antropogenic acidification of water environment is one of the most urgent problems of the modern ecology. Mercury is believed to be one of the most dangerous elements, which has poisonous effect on hydrobionts. Analysis of carbohydrase activities and kinetic characteristics of disaccharides and polysaccharides hydrolysis in perch *Perca fluviatilis* L. from European Russia water reservoirs with neutral and acidic water pH showed multidirectional changes of these factors. Km of sucrose hydrolysis in fishes from acidic lakes (with higher level of accumulated mercury in organism) may be 4–9 times lower (affinity of enzymes to substrata is higher) than in perches from water reservoirs with neutral pH value. Adaptive increase of the affinity of enzymes to substrata with increase of mercury content may partially compensate adverse effects of environmental factors on the velocity of digestion and assimilation of carbohydrates. Furthermore it was established that mercury content in intestinal tract of fishes in greater degree than in muscular tissue determine the direction of changes of kinetic characteristics of carbohydrates hydrolysis.

### **МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИБРЕЖНОГО МЕЙОБЕНТОСА ОЗЕР КРИВОЕ И СТАРУШЕЧЬЕ (КАРЕЛИЯ)**

**В.А. Петухов**

Учреждение Российской академии наук Зоологический институт РАН,  
г. Санкт-Петербург, Россия, e-mail: vpetukhov@list.ru

На территории Карелии расположено более 60 тыс. озер, в основном представляющих собой небольшие лесные озера, входящие в группу димиктических олигоацидно-нейтральных низкоминерализованных водоемов. Озера Кривое и Старушечье, расположенные на побережье Кандалакшского залива Белого моря, имеют близкие значения по первичной продукции, но различаются гидрохимическими (рН, цветностью воды) и морфометрическими (глубина, площадь) характеристиками. Прибрежная зона (0–3 м) занимает в обоих озерах около 30% площади. Предполагается, что ввиду низкой продуктивности зообентоса центральной части озер, связанной прежде всего с их низкой трофностью, основная часть энергии экосистем передается через другие звенья, и в частности через сообщества мелководной зоны. В этой связи представлялось необходимым изучить структуру, оценить продуктивность мейобентоса мелководной зоны, в которой он, благодаря своей многочисленности, играет заметную роль. Некоторые данные по мейобентосу озер публиковались ранее (Berezina, Petukhov, 2005; Петухов, Березина, 2007).

Пробы мейобентоса отбирались в 2002–2008 годах на глубинах 0.3–0.5 м в прибрежных зонах озер. Грунты на станциях были представлены песками разной степени заиленности. Пробы отбирались почвенным стаканчиком. Часть проб фиксировали 4%-ным формалином, часть разбирали в живом виде. Пробу процеживали через сито с ячейей 90 мкм и просматривали под биноклем в камере Богорова. Видовое определение олигохет не проводили. Индивидуальная масса животных вычислялась по уравнению  $W=gL^b$ , где  $W$  – индивидуальная масса, мг (для Nematoda – мкг);  $L$  – длина тела, мм. Схема отбора проб на озерах – на рисунках 1, 2.

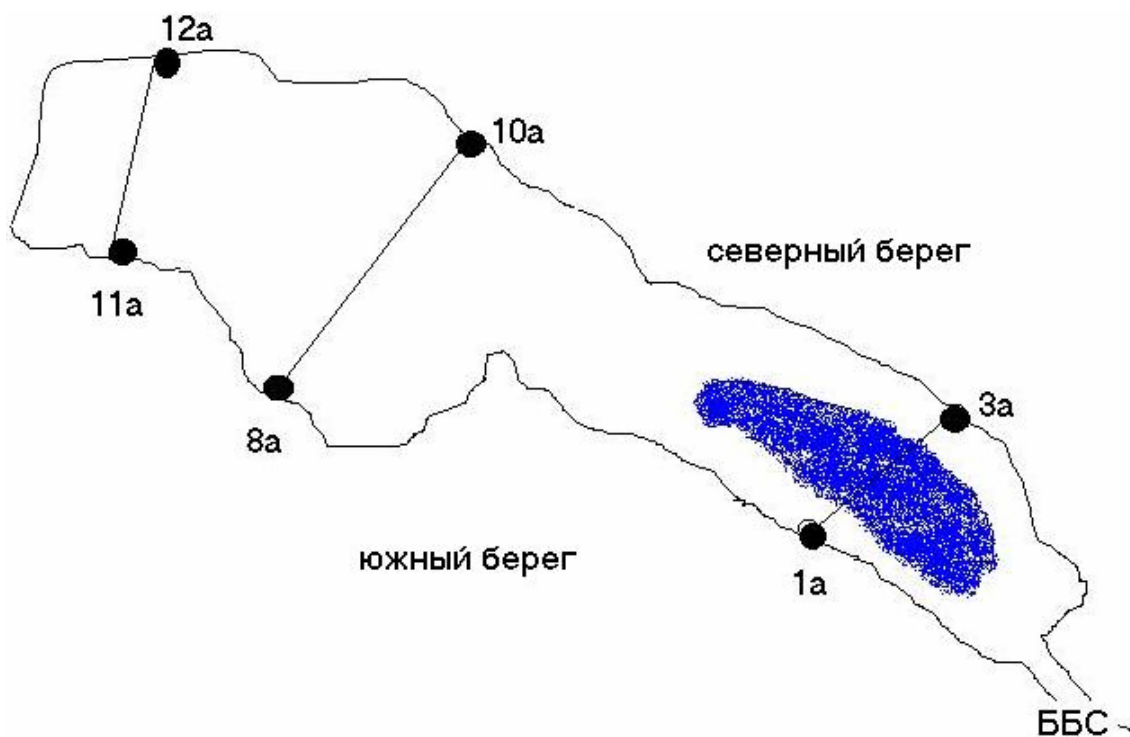


Рис. 1. Схема отбора проб в прибрежьи оз. Кривое

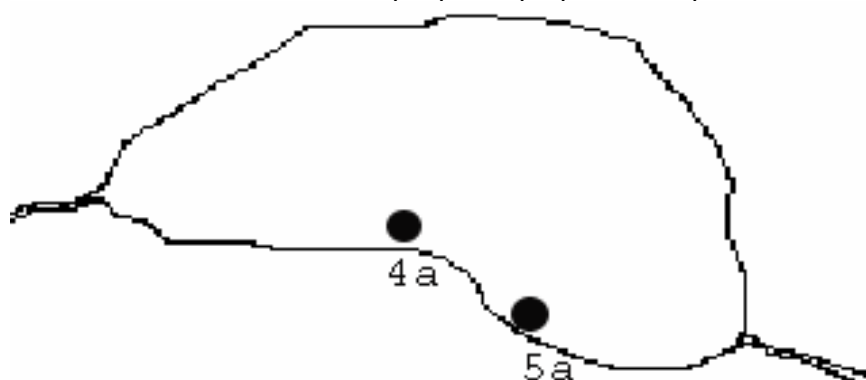


Рис. 2. Схема отбора проб в прибрежьи оз. Старушечье

Таблица 1

**Гидрологические и гидрохимические характеристики озёр Кривое и Старушечье**

Характеристики		Кривое		Старушечье
		1968–1969 гг.	2002–2004 гг.	2002–2004 гг.
Площадь зеркала, км <sup>2</sup>		0.5	0.5	0.07
Глубина максимальная, м		32.0	32.0	9.0
Глубина средняя, м		11.8	11.8	3.5
Прозрачность воды по белому диску, м		4.0–6.0	4.5–6.8	2.9–3.6
Цветность, град. Pt-Co шкалы		24 (20–0)	30	40–48
Общая минерализация, мг/л		72–105	45–50	45
Содержание кислорода, мг О <sub>2</sub> /л	Поверхность	10.1–10.9	8.6–12.1	8.7–9.8
	Дно	6.1–8.1	4.9–11.4	1.44–7.9
Насыщение воды кислородом, %	Поверхность	92–103	85.4–105.7	82.5–99.4
	Дно	45–63	37.4–86.6	6.6–48.5
Величина pH	Поверхность	7.0–7.4	7.42–7.68	6.84–7.24
	Дно	6.6–6.8	6.85–7.28	5.16–6.88
Общий фосфор, мкг Р/л		14–74	16–56	5–77
Взвешенный фосфор, мкг Р/л		–	1.7–6.7	3–14

Как видно из таблицы 1 гидролого-гидрохимические показатели изучаемых озер близки по своим значениям. Озеро Старушечье проточное.

### Результаты и обсуждение

Список видов мейобентоса озер (Табл. 2) содержит разное их количество: оз. Кривое богаче видами, чем оз. Старушечье. Наибольшее видовое разнообразие характерно для нематод – в оз. Кривое – 11 в., в оз. Старушечье 6 в. Хиرونмид соответственно 4 в. и 3 в. Мейобентос изученных озер имеет видовой состав, типичный для этого региона.

Таблица 2

Список видов животных мейобентоса озер Кривое и Старушечье

Группы и виды животных	Оз. Кривое	Оз. Старушечье
Nematoda		
1. <i>Brevitobrilus stefanski</i> Tsal.	+	–
2. <i>Neotobrilus longus rossicus</i> Tsal	+	
3. <i>Tripyla glomerans</i> Bast.	+	–
4. <i>Eudorylaimus carteri</i> (Bast.)	+	–
5. <i>Ironus ignavus</i> Bast.	+	+
6. <i>Paramononchus alimovi</i> Tsal.	–	+
7. <i>Chromadorita leuckarti</i> (de Man)	–	+
8. <i>Dorylaimus stagnalis</i> Dujard.	–	+
9. <i>Paractinolaimus macrolaimus</i> (de Man)	–	+
10. <i>Plectus tenuis</i> Bast.	+	+
11. <i>Aphanojaimus aquaticus</i> Dad.	+	–
12. <i>Euteratocephalus palustris</i> (de Man)	+	–
13. <i>Achromadora terricola</i> (de Man)	+	–
14. <i>Prismatolaimus intermedius</i> (Bütsch.)	+	–
15. <i>Prodesmodora circulata</i> (Micol.)	+	–
Cladocera		
16. <i>Chydorus sphaericus</i> (O.F. Müller)	+	–
17. <i>Alona quadrangularis</i> (O.F. Müller)	+	–
Cyclopoida		
18. <i>Cyclops</i> sp.	+	–
Chironomidae		
19. <i>Cladotanytarsus mancus</i> Walk.	+	–
20. <i>Tanytarsus lobatifrons</i> Kieff	–	+
21. <i>Psectrocladius</i> sp. K	+	–
22. <i>Pseudochironomus</i> sp. Mall.	+	–
23. <i>Cryptochironomus defectus</i> Kieff	–	+
24. <i>Polypedilum nubeculosum</i> Mg.	–	+
25. <i>Stictochironomus histrio</i> F.	+	–
Harpacticoida		
26. <i>Canthocamptus staphylinus</i> Jur.	+	–
Ostracoda		
27. <i>Candona candida</i> O.F. Müller	+	–
Oligochaeta		
28. Tubificidae	+	+
Всего	21	9

В таблицах 3 и 4 сравниваются сезонные изменения численности и биомассы мейобентоса изучаемых озер. Год для сравнения выбран типичный – по совокупности признаков. Видно, что основу численности в обоих озерах создавали нематоды и олигохеты, а основная биомасса мейобентоса приходилась на водяных клещей, олигохет, хиرونмид. Общие численность и биомасса мейобентоса в озерах различались слабо.

Таблица 3

**Численность (числитель в тыс. экз./м<sup>2</sup>) и биомасса (знаменатель в г/м<sup>2</sup>) мейобентоса прибрежья оз. Кривое в 2003 г.**

Группы животных	июнь	июль	август	Ср за сезон
Nematoda	15.0/0.07	11.8/0.045	3.0/0.019	9.9/0.04
Ostracoda				-
Cyclopoida			1.0/0.03	0.4/0.01
Harpacticoida		0.5/0.01	0.5/0.005	0.4/0.005
Cladocera	1.0/0.05		6.0/0.29	2.5/0.02
Hydracarina	1.0/0.05	1.5/0.14	6.0/3.28	2.8/1.20
Эвмейобентос	17.0/0.17	13.8/0.195	16.5/3.624	16.0/1.275
Oligochaeta	3.2/0.39	2.0/0.24	1.0/0.12	2.0/0.23
Chironomidae	5.2/0.64	4.0/0.28	8.0/0.62	5.8/0.49
Псевдомейобентос	8,4/1.03	6.0/0.52	9,0/0.74	7.8/0.72
Мейобентос	25.4/1.20	19,8/0.715	25,5/4.364	23.7/1.995

Таблица 4

**Численность (числитель в тыс. экз./м<sup>2</sup>) и биомасса (знаменатель в г/м<sup>2</sup>) мейобентоса прибрежья оз. Старушечье в 2003 г.**

Группы и виды животных	июнь	июль	сентябрь	Ср. за сезон
Nematoda	14.5/0.065	7.0/0.021	17.0/0.049	12.8/0.045
Ostracoda	—	3.0/0.45	—	1.0/0.15
Cyclopoida	—	2.0/0.065	—	0.7/0.022
Harpacticoida	—	1.0/0.02	1.0/0.02	0.7/0.01
Cladocera	—	2.0/0.07	—	0.7/0.02
Hydracarina	2.5/0.50	8.0/0.603	—	3.5/0.37
Эвмейобентос	17.0/0.565	23.0/1.23	18.0/0.07	19.4/0.617
Oligochaeta	24.0/2.88	13.0/1.44	3.0/0.36	13.3/1.58
Chironomidae	—	1.0/0.07	4.0/0.28	1.7/0.12
Псевдомейобентос	24.0/2.88	14.0/1.51	7.0/0.64	15.0/1.70
Мейобентос	41.0/3.445	37.0/2.74	25.0/0.71	34.4/2.317

Таблица 5

**Численность (тыс. экз./м<sup>2</sup>) и биомасса (г/м<sup>2</sup>) мейобентоса прибрежья оз. Кривое в разные годы**

Группы животных	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Nematoda	3.9/0.021	12.0/0.06	10.3/0.064	16.2/0.08	11.6/0.028	12.2/0.10	5.6/0.02
Ostracoda		0.2/0.04	0.1/0.01	0.1/0.01			
Cyclopoida	0.2/0.005	0.2/0.01	0.6/0.02	0.3/0.01	0.4/0.01	0.5/0.02	0.7/0.04
Harpacticoida	0.2/0.002	1.4/0.02	1.8/0.03	4.0/0.05	6.1/0.06	0.8/0.01	0.7/0.01
Cladocera	1.8/0.04	3.2/0.08	2.8/0.14	3.5/0.08	6.6/0.42	4.2/0.31	5.4/0.37
Hydracarina		4.5/1.06	9.2/1.47	8.5/1.40	6.5/0.94	3.8/0.56	1.2/0.20
Эвмейобентос	6.1/0.068	21.5/1.27	24.8/1.734	32.6/1.63	31.2/1.458	21.5/1.00	13.6/0.64
Oligochaeta	3.8/0.47	4.2/0.48	4.6/0.55	3.2/0.36	13.3/1.12	7.2/0.76	2.0/0.24
Chironomidae	5.8/0.43	8.1/0.61	7.2/0.51	8.8/0.61	10.2/0.62	12.2/1.39	7.7/0.49
Псевдомейобентос	9.6/0.90	12.3/1.09	11.8/1.06	12.0/0.97	23.5/1.74	19.4/2.15	9.7/0.73
Мейобентос	15.7/0.968	33.8/2.36	36.6/2.794	44.6/2.60	54.7/3.198	40.9/3.15	23.3/1.37



Таблица 6

**Численность (тыс. экз./м<sup>2</sup>) и биомасса (г/м<sup>2</sup>) мейобентоса прибрежья оз. Старушечьего в разные годы**

Группы животных	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Nematoda	1.6/0.006	12.8/0.045	9.0/0.057	11.0/0.063	4.0/0.011	6.7/0.05	3.3/0.02
Ostracoda	–	1.0/0.15		1.0/0.15	2.0/0.30	1.0/0.01	0.2/0.03
Cyclopoida	0.1/0.004				1.0/0.062	1.0/0.04	
Harpacticoida	0.5/0.005	0.7/0.022		5.0/0.05	1.0/0.01	1.7/0.02	2.0/0.09
Cladocera	0.1/0.002	0.7/0.02	1.0/0.252		13.0/0.806	2.7/0.20	2.5/0.189
Hydracarina	–	3.5/0.37	3.0/0.54	9.0/1.17	4.0/0.64	2.7/0.39	2.0/0.26
Эвмейобентос	2.4/0.017	19.4/0.617	13.0/0.849	26.0/1.439	25.0/1.829	15.8/0.71	10.0/0.589
Oligochaeta	2.8/0.33	13.3/1.58	3.0/0.36	8.0/0.96	3.0/0.30	66.3/8.00	9.5/1.38
Chironomidae	2.5/0.18	1.7/0.12		6.0/0.42	2.0/0.14	4.7/0.35	7.6/0.40
Псевдомейобентос	5.3/0.51	15.0/1.70	3.0/0.36	14.0/1.38	5.0/0.44	71.0/8.35	17.1/1.78
Мейобентос	7.7/0.527	34.4/2.317	16.0/1.209	40.0/2.812	30.0/2.269	86.8/9.06	27.1/2.369

Межгодовые колебания численности и биомассы в озерах оказались незначительны. За исключением первого и последнего лет наблюдения в оз. Старушечье, когда эти показатели сильно различались. Эти различия в оз. Кривое тоже наблюдались, но были выражены в меньшей степени.

Таблица 7

**Структурно-функциональные характеристики мейобентоса оз. Кривое (прибрежье) в 2002–2008 гг.**

Характеристики	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
N тыс. экз./м <sup>2</sup>	3.9	36.1	35.4	42.2	54.7	40.9	23.3
B, г/м <sup>2</sup>	0.968	2.08	2.44	2.88	3.198	3.15	1.37
B, Кдж/м <sup>2</sup>	5.30	11.4	11.85	13.99	15.53	18.27	7.95
P, Кдж/м <sup>2</sup>	17.22	27.5	33.75	45.46	50.48	58.64	25.74
R, Кдж/м <sup>2</sup>	34.96	58.1	67.4	92.29	102.48	118.52	52.27
A, Кдж/м <sup>2</sup>	52.18	85.6	101.1	137.75	152.96	177.16	78.02
P/R	0.49	0.48	0.49	0.49	0.49	0.50	0.49
P/B	3.25	2.98	3.24	3.25	3.25	3.20	3.24
K <sub>2</sub>	0.33	0.32	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33

Таблица 8

**Структурно-функциональные характеристики мейобентоса оз. Старушечье (прибрежье) в 2002–2008 гг.**

Характеристики	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
N тыс. экз./м <sup>2</sup>	7.7	34.4	8.0	20.0	10.0	86.8	27.1
B, г/м <sup>2</sup>	0.527	2.317	0.61	1.40	0.76	9.06	2.369
B, Кдж/м <sup>2</sup>	2.89	12.70	3.34	7.67	4.39	52.55	12.98
P, Кдж/м <sup>2</sup>	8.38	41.27	9.69	24.93	14.26	170.78	41.53
R, Кдж/м <sup>2</sup>	17.01	87.76	2059	52.98	30.29	346.74	88.26
A, Кдж/м <sup>2</sup>	25.39	129.03	30.28	77.91	44.55	517.52	129.79
P/R	0.49	0.47	0.47	0.47	0.47	0.49	0.47
P/B	2.90	3.25	2.90	3.25	3.25	3.25	3.20
K <sub>2</sub>	0.33	0.32	0.32	0.32	0.32	0.33	0.32

Структурно-функциональные характеристики мейобентоса изученных озер в разные годы колебались незначительно. Более существенно эти показатели изменялись в оз. Старушечье, в котором гидролого-гидрохимические показатели изменялись в большей степени, чем в оз. Кривое. Это обусловлено большей проточностью оз. Старушечьего и вследствие этого большим изменением уровня воды, в зависимости от различных межгодовых климатических колебаний.

### Выводы

- В составе мейобентоса прибрежной зоны обнаружен 21 вид в оз. Кривое и 9 видов в оз. Старушечье, наибольшее число видов отмечено среди нематод, олигохет и насекомых.

- В мейобентосе доминировали по численности нематоды (35%) и хирономиды (24%), по биомассе – водные клещи (44%) и хирономиды (25%). Выявлены межгодовые и сезонные различия в распределении биомассы и численности мейобентоса в изученной зоне.
- Средняя за сезон продукция мейобентоса – 30 кДж/м<sup>2</sup> в оз. Кривом и 24 кДж/м<sup>2</sup> в оз. Старушечьем. Значения Р/В коэффициентов в озерах варьировали от 3.2 до 3.3.
- Беспозвоночные мейобентоса побережья играют важную роль в трофической сети озера. Отдельные группы мейобентоса (нематоды, ракообразные, хирономиды и олигохеты) используются в пищу животными макробентоса (амфиподами, водными насекомыми и рыбами).

#### Литература

Петухов В. А., Березина Н. А., 2007. Многолетние изменения структурно-функциональных характеристик мейобентоса и макробентоса двух озер Карельского севера. Актуальные вопросы изучения микро-, мейо-зообентоса и фауны зарослей пресноводных водоемов // Международная школа-конференция Борок 2007. Тематические лекции и материалы. Борок. С. 226–230.

Berezina Nadezhda A., Petukhov Vasilij A., 2006. Productivity and trophic relations in shallow littoral zone of Lake Krivoe (Northern Karelia): meiobenthos and macrozoobenthos. Zoological sessions annual reports 2005. St.Petersburg. Vol. 310. P. 15–24.

### MEIOBENTHOS OF THE COASTAL ZONE OF TWO LAKES (NORTHERN KARELIA)

V. A. Petukhov

Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia  
e-mail: vpetukhov@list.ru

The species composition of meiobenthos in the two Karelian lakes is presented. Long-term changes of structural and functional characteristics of the meiobenthos in the coastal zone are discussed. In the Lake Krivoe abundance fluctuated from 1 to 111 thousands ind./m<sup>2</sup>, biomass – from 0.01 to 111 g WW/m<sup>2</sup>, in the Lake Starushech'e – respectively from 25 to 41 ind./m<sup>2</sup> and from 0.71 to 3.445 g WW/m<sup>2</sup>. Up to 60% of the meiofauna abundance fell to the share of nematodes and biomass – to the share of oligochaetes, arachnids and chironomids. The most frequently occurred nematode species were *Dorylaimus stagnalis*, *Tripyla glomerans*, *Ironus ignavus* and *Plectus tenuis*.

### ХЛОРОРГАНИЧЕСКИЕ ПЕСТИЦИДЫ И ПОЛИХЛОРБИФЕНИЛЫ В РЫБАХ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Н.Ф. Плотичина, Т.А. Зимовейскова

Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии  
им. Н.М. Книповича (ПИНРО), г. Мурманск, Россия  
e-mail: nplotits@pinro.ru

#### Введение

Среди токсикантов глобального распространения выделяется группа хлорированных углеводородов, не имеющих природных аналогов. В эту группу входят хлорорганические пестициды (ХОП) и полихлорбифенилы (ПХБ) – химические вещества, широко применяющиеся в сельском хозяйстве и промышленности. Все они очень устойчивы и в то же время летучи и переходят в атмосферу в виде паров и аэрозолей, а впоследствии выпадают с осадками на поверхность суши, морей и океанов. Многолетнее бесконтрольное использование этих соединений привело к их повсеместному распространению, накоплению в биотических и абиотических компонентах наземных и морских экосистем (Мониторинг фонового загрязнения ..., 1986; Мониторинг фонового загрязнения ..., 1987).

#### Материал и методика

В данной работе использованы пробы рыб, собранные в различных промысловых районах Баренцева моря в рейсе № 64 НИС «Смоленск» в октябре-декабре 2007 г.

Отбор, подготовка и анализ биологических проб выполнены в соответствии с методическими руководствами ФАО и ИКЕС (ICES Guidelines ..., 1984; Manual of Methods in Aquatic Environment Research. Part 2 ..., 1976; Manual of Methods in Aquatic Environment Research. Part 3..., 1976).

Хлорорганические пестициды ( $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -гексахлорциклогексан, гексахлорбензол, *цис*-, *транс*-хлордан, *транс*-нонахлор, ДДТ и его метаболиты) и полихлорбифенилы (конгинеры с номерами по номенклатуре IUPAC: 28, 31, 52, 99, 101, 105, 118, 138, 153, 156, 180, 187) определялись методом капиллярной газовой хроматографии на хроматографе «Hewlett-Packard»-5890, Series II (США) с детектором электронного захвата ( $^{63}\text{Ni}$ ) и капиллярной кварцевой колонкой длиной 50 метров. Количественное определение проводилось с использованием многоуровневой калибровки тестовыми смесями, приготовленными из сертифицированных кристаллических пестицидов и полихлорбифенилов фирмы «Promochem» (Швеция). Для автоматической обработки результатов анализа применялась программа «ChemStation» фирмы Hewlett-Packard.

Качество аналитических работ оценивалось при регулярных анализах сертифицированных материалов сравнения:

– SRM 2974 (Хлорорганические соединения и ПАУ в тканях мидии)/ NIST, США;

– МА-А-1/ОС (Хлорированные углеводороды в гомогенате копепод)/IAEA, Монако, а также при участии аналитической лаборатории ПИНРО в интеркалибровке вместе с лабораториями норвежских институтов NIVA, Akvaplan-niva и ГУ НПО «Тайфун» Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды РФ (г. Обнинск).

В качестве критериев загрязненности морских рыб были использованы санитарно-эпидемиологические правила и нормативы для продовольственного сырья и пищевых продуктов (СанПиН 2.3.2.1078-01) (Гигиенические требования безопасности ..., 2002), норвежское руководство по классификации качества окружающей среды в фиордах и прибрежных водах (Klassifisering av miljøkvalitet ..., 1997), а также фоновые концентрации загрязняющих веществ в объектах морской среды по собственным и литературным данным (Мониторинг фонового загрязнения ..., 1986; Мониторинг фонового загрязнения..., 1987).

Выполнены определения загрязняющих веществ в рыбах Баренцева моря, выловленных в различных промысловых районах: Западный Шпицберген, Зюйдкапский желоб, Западный склон Медвежинской банки, Южный склон Медвежинской банки, Район Копытова, Фулей банка, Сёре банка, Нордкинская банка, Норвежский желоб, Финмаркенская банка, Юго-Западный склон Мурманской банки, Северо-Восточный склон Мурманской банки, Северный склон Мурманского мелководья, Северо-Центральный район, Северо-Канинская банка, Западный склон Гусиной банки, Северный склон Канино-Колгуевского мелководья.

Всего проанализировано 65 проб рыб (35 индивидуальных проб мышц и 30 индивидуальных проб печени) по 25 химическим показателям каждая.

### Результаты и обсуждение

Распределение персистентных хлорированных углеводородов в морских организмах отличается крайней неоднородностью и тяготением повышенных концентраций к системам депонирования, а также к органам и тканям с высоким содержанием жиров и липидов (Худoley, 1991).

Данные о содержании хлорорганических пестицидов и полихлорбифенилов (ПХБ) в мышцах и печени рыб Баренцева моря представлены на рисунках 1–6.

Остаточные количества гексахлорциклогексана, гексахлорбензола и хлорданов в мышцах исследованных рыб не превышали 5 нг/г сырой массы (максимальное значение отмечено для палтуса синекорого).

Минимальное содержание ДДТ (около 2,5 нг/г сырой массы) обнаружено в мышцах пикши и трески из промыслового района Норвежский желоб, максимально высокое (15,2 нг/г сырой массы) в мышцах палтуса синекорого из района Западный склон Медвежинской банки. Более высокое содержание в мышцах рыб изомера *p,p'*-ДДЕ по сравнению с другими изомерами свидетельствует о длительном процессе трансформации ДДТ в более стойкие метаболиты.

В мышцах трески (см. рисунок 1), пикши (см. рисунок 2), сайды, камбалы-ерша с низким содержанием жира (0,33–2,80 %) суммарные концентрации полихлорбифенилов не превышали 5 нг/г сырой массы, в то время как в мышцах палтуса синекорого, содержащих до 14 % жира, концентрации полихлорбифенилов составляли 17,9 нг/г сырой массы.

Из пестицидов в мышцах исследованных рыб доминировали ДДТ и его метаболиты, из полихлорбифенилов – тетра-, пента- и гексахлорбифенилы, составляющие более 90 % от общего содержания ПХБ (конгинеры с номерами 52, 118, 138, 153).

Суммарное содержание хлорорганических пестицидов и полихлорбифенилов в мышцах рыб Баренцева моря не превышало допустимые уровни, утвержденные санитарными правилами и нор-

мами для продовольственного сырья и пищевых продуктов (рыба живая, свежая, охлажденная, мороженая) – для пестицидов ГХЦГ и ДДТ по 200 нг/г, для полихлорбифенилов – 2000 нг/г сырой массы (Гигиенические требования безопасности ..., 2002).

Содержание хлорорганических пестицидов и полихлорбифенилов в печени исследованных рыб было значительно выше, чем в мышцах, так как печень является депонирующим органом, где в первую очередь происходит накопление загрязняющих веществ (см. рисунки 3–6).

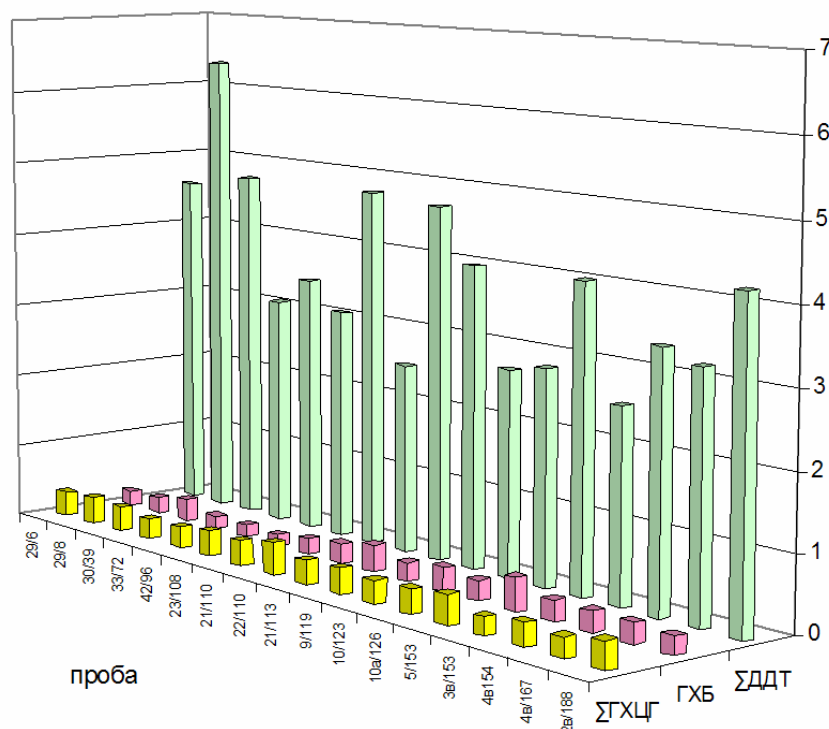


Рис. 1. Содержание хлорорганических пестицидов в мышцах трески Баренцева моря, нг/г сырой массы

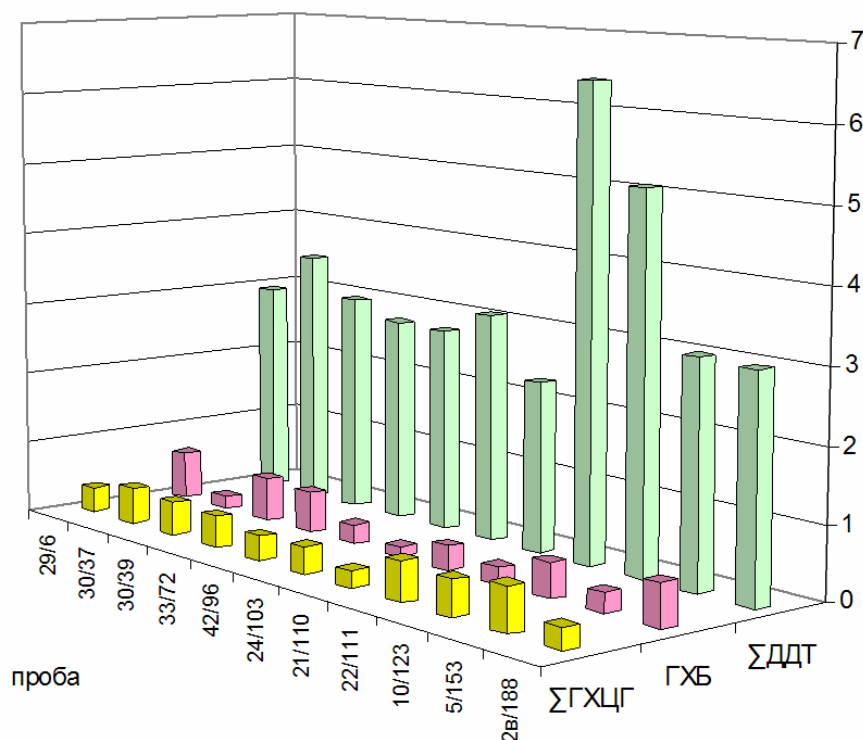


Рис. 2. Содержание хлорорганических пестицидов в мышцах пикши Баренцева моря, нг/г сырой массы

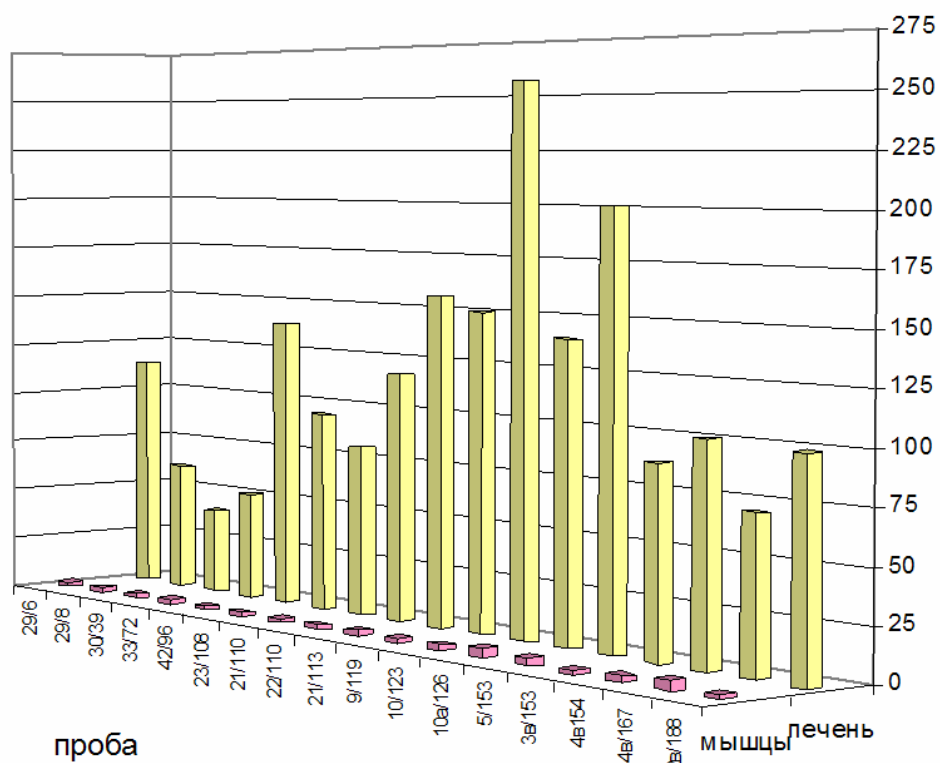


Рис. 3. Содержание ПХБ в треске Баренцева моря, нг/г сырой массы

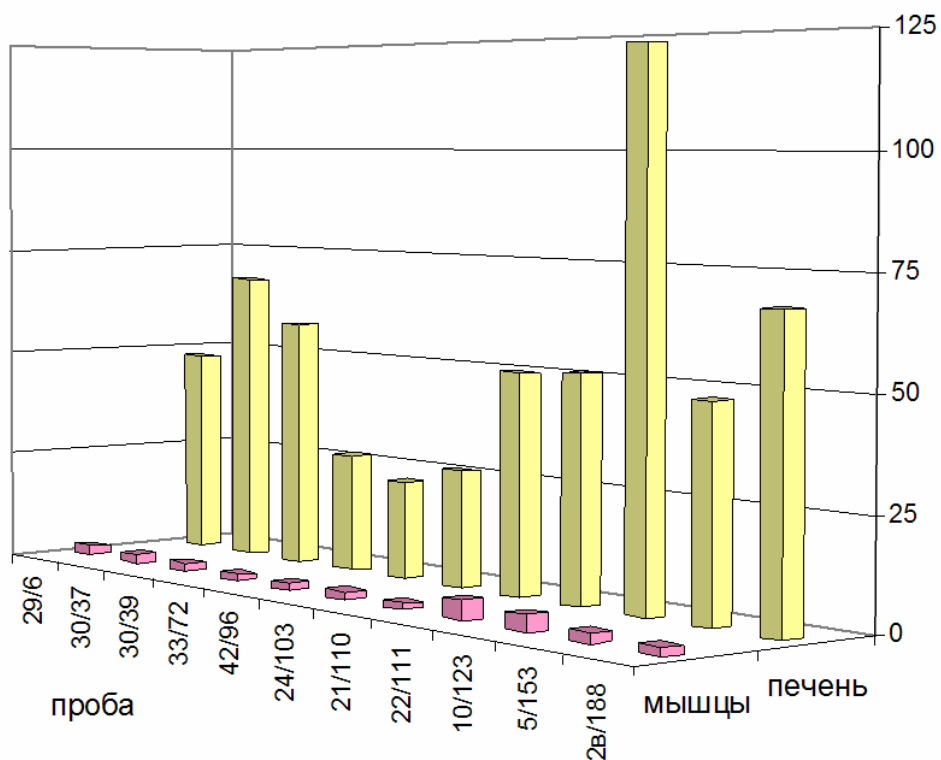


Рис. 4. Содержание ПХБ в пикше Баренцева моря, нг/г сырой массы

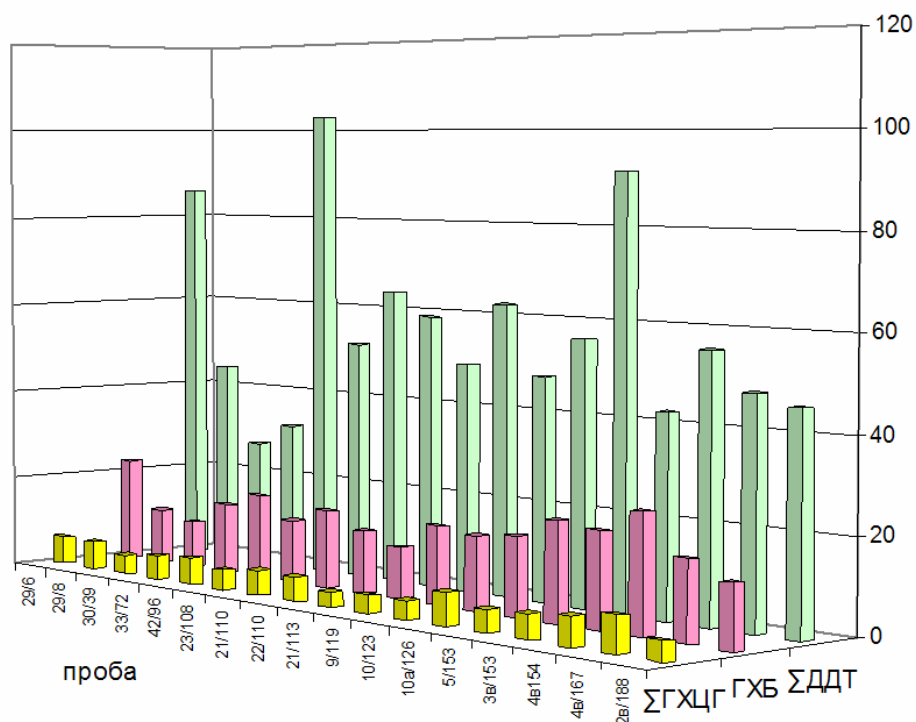


Рис. 5. Содержание хлорорганических пестицидов в печени трески Баренцева моря, нг/г сырой массы

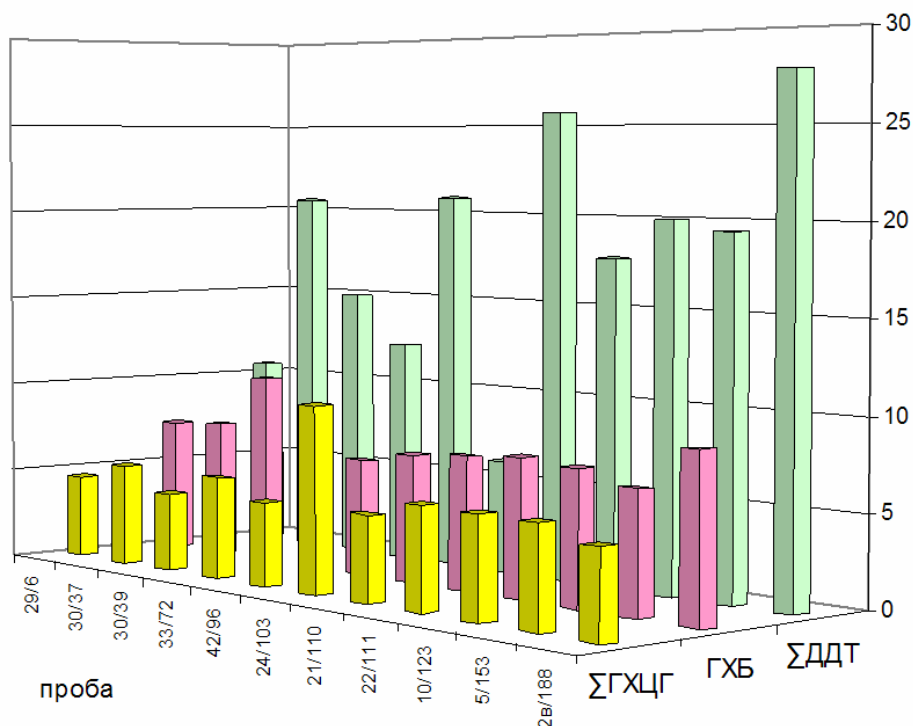


Рис. 6. Содержание хлорорганических пестицидов в печени пикши Баренцева моря, нг/г сырой массы

Тем не менее, суммарные концентрации изомеров гексахлорциклогексана, ДДТ и ПХБ были значительно ниже уровней, установленных санитарными правилами и нормами для печени морских рыб и продуктов из нее: 1000 нг/г, 3000 нг/г и 5000 нг/г сырой массы соответственно (Гигиенические требования безопасности ..., 2002).

## Выводы

Полученные результаты хорошо согласуются с ранее опубликованными данными о содержании хлорированных углеводородов в ихтиофауне северных морей (Kelly, Campbell, 1994; Плотицына, Киреева, 1996; Plotitsyna, Kireeva, 1997; Stange, Maage, Klungsoyr, 1997).

Наибольшие концентрации хлорированных углеводородов в печени трески зафиксированы у экземпляров, выловленных в промысловом районе Западный Шпицберген и районе Копытова, пикши – в промысловых районах Северный склон Канино-Колгуевского мелководья, Фулей-банка и Зюйдкапский желоб.

В печени трески и пикши содержание жира варьировало от 40 до 60 %. Четкой зависимости между его содержанием и суммарными концентрациями пестицидов и полихлорбифенилов в печени этих видов рыб не наблюдалось. В печени рыб преобладали ДДТ и его метаболиты, затем следовали изомеры хлордана, гексахлорциклогексана и гексахлорбензол. Соотношение индивидуальных ПХБ в печени исследованных рыб Баренцева моря с преобладанием конгинеров 153, 138, 118 указывает на содержание в морской среде специфических соединений, входящих в состав промышленных смесей полихлорбифенилов типа Aroclor (российские аналоги – совол и совтол).

Полихлорбифенилы обладают теми же токсическими свойствами, что и диоксины, и механизмы их действия на живые организмы идентичны. В объектах окружающей среды стойкие органические загрязнители встречаются в различных сочетаниях и концентрациях, что затрудняет общую оценку их опасности. Для этих целей была разработана международная шкала факторов эквивалентной токсичности (I-TEF), где за эталон токсичности был принят наиболее сильный по своей биологической активности и хорошо изученный 2,3,7,8-тетрахлор-дibenзо-*p*-диоксин (2,3,7,8-ТХДД), фактор эквивалентной токсичности которого принят за 1. Эти факторы представляют собой коэффициенты, при умножении на которые найденная в том или ином образце концентрация конкретного конгинера ПХБ может быть выражена через эквивалент токсичности 2,3,7,8-ТХДД (ТЕQ или ТЭ). Сложив эти эквиваленты, вычисляют суммарную токсичность пробы в pg TEQ/g ww (в пгТЭ/г сырой массы пробы) (Стойкие органические загрязнители ..., 2002). Например, для конгинеров с номерами 105, 118, 156 и 180, которые обнаружены в исследованных пробах рыб, факторы эквивалентной токсичности составляют 0,0001, 0,0001, 0,0005 и 0,00001 соответственно (Стойкие органические загрязнители ..., 2002). Суммарная токсичность указанных полихлорбифенилов в мышцах рыб, выраженная в единицах токсического эквивалента, варьировала от 0,06 (пикша) до 0,22 (треска) пгТЭ/г сырой массы, а в печени – от 0,24 (палтус) до 9,06 (треска) пгТЭ/г сырой массы. Токсичность диоксиноподобных полихлорбифенилов, обнаруженных в мышцах рыб, была наиболее высокой у пикши, выловленной в промысловом районе Норвежский желоб, трески из района Северо-Восточный склон Мурманской банки, у камбалы-ерша из района Северный склон Мурманского мелководья, у палтуса из района Западный склон Медвежинской банки. Наибольшая величина этого показателя для печени найдена как у пикши, так и у трески, выловленных в промысловом районе Юго-Западный склон Мурманской банки.

Результаты 2007 года хорошо согласуются с данными, полученными по ТЕQ для диоксиноподобных конгинеров ПХБ у рыб, выловленных в зимний сезон 2006 г., где практически в мышцах всех исследованных рыб суммарная токсичность четырех вышеуказанных конгинеров была ниже 1 пгТЭ/г сырой массы, а в печени рыб ее максимальная величина составила 8,8 пгТЭ/г сырой массы (пикша, выловленная в районе Мурманского языка).

## Литература

- Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов, 2002. ( СанПиН 2.3.2. 1078-01). М.: Минздрав РФ. 164 с.
- Мониторинг фоновое загрязнение природных сред, в. 3, 1986. / Под ред. Ю. А. Израэля и Ф. Я. Ровинского. Л.: Гидрометеоиздат. 245 с.
- Мониторинг фоновое загрязнение природных сред, в. 4, 1987. / Под ред. Ю. А. Израэля и Ф. Я. Ровинского. Л.: Гидрометеоиздат. 384 с.
- Плотицына Н. Ф. Киреева Л. И., 1996. Содержание загрязняющих веществ в гидробионтах Баренцева моря // Материалы отчетной сессии по итогам НИР ПИНРО в 1995 г. Мурманск: Изд-во ПИНРО. С. 168–191.
- Стойкие органические загрязнители: пути решения проблемы, 2002. /Худoley В.В., Гусарова Е.Е., Клинский А.В., Ливанов Г.А., Старцев А.А. СПб.: НИИХ СПбГУ. 363 с.

Худолей В.В., 1991. Полициклические ароматические и галогенизированные углеводороды: антропогенная нагрузка северных морей и оценка онко-экологической опасности // Проблемы экологии полярных областей. М.: Наука, 1991. С. 88–91.

ICES Guidelines for Monitoring Contaminants in Fish and Shellfish and in Sediments/ Six Year Review of ICES Coordinated Monitoring Programmes, 1984. // Coop. Res. Report. No. 126. P. 96–100.

Kelly A. G. Campbell D., 1994. Persistent Organochlorine Contaminants in Fish and Shellfish from Scottish Waters // Scottish Fisheries Research Report. No. 54. 26 pp.

Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Veiledning (Classification of environmental quality in fiords and coastal waters. A Guide, 1997. / J. Molvær, J. Knutzen, J. Magnusson, B. Rygg, J. Skei, J. Sørensen // SFT Veiledning, 97:03. 36 pp. (In Norwegian).

Manual of Methods in Aquatic Environment Research, 1976. Part 3. Sampling and Analyses of Biological Material // FAO Fisheries Technical Paper. No. 158. 124 p.

Manual of Methods in Aquatic Environment Research., 1976. Part 2. Guidelines for Use of Biological Accumulators in Marine Pollution Monitoring // FAO Fisheries Technical Paper. No. 150. 76 p.

Plotitsyna N. F., Kireeva L.I., 1997. Content of pollutants in marine organisms of the Barents Sea // ICES CM / R: 04. 12 p.

Pogrebov V.B., 1994. Assessment of the Ecological State of the West-Arctic Shelf by Benthos // Arct. Res. US.V.8, Spring, P.290–294.

Stange K., Maage A., Klungsoyr J., 1997. Chlorinated persistent organics and trace elements in marine fish from northern seas // The AMAP International Symposium on Environmental Pollution in the Arctic. - [Tromsø]. P. 106–108.

## **ORGANOCHLORINE PESTICIDES AND POLYCHLORINATED BIPHENYLS IN THE BARENTS SEA FISHES**

**N.F. Plotitsyna, T.A. Zimoveyskova**

Knipovich Polar Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography (PINRO), Murmansk, Russia,  
e-mail: nplotits@pinro.ru

DDT and its metabolites were the dominant pesticides found in the muscles of fishes examined. Tetra-, penta- and hexachlorobiphenyls (congeners # 52, 118, 138, 153) constituted 90 % of total PCBs. Chlorinated hydrocarbons' content in the liver of the investigated Barents Sea fishes was much higher than that in muscles as the liver is the accumulation organ where pollutants accumulation occurs first of all. Summary content of organochlorine pesticides (OCPs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) in muscles' tissue and liver of fishes from the Barents Sea did not exceed the permitted levels approved by the Russian sanitary code for the raw food products and provision (muscles – HCH and DDT – on 200 ng/g ww, PCBs – 2000 ng/g ww; liver – HCH, DDT, PCB – 1000, 3000, 5000 ng/g ww, correspondingly. Summary toxicity of polychlorinated biphenyls (congeners # 105, 118, 156 and 180) in the muscles of fishes, expressed in the units of toxical equivalent varied in the range 0,06 (haddock) – 0,22 (Atlantic cod) ng TEQ/g ww, and in the liver – in the range 0,24 (Greenland halibut) – 9,06 (Atlantic cod) ng TEQ/g ww. The greatest value of this index for the liver is found in cod and haddock caught in the fishing area the South- Western Slope of the Murmanskaya fishing ground.

## **ИХТИОФАУНА ВОДОЕМОВ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА «КИВАЧ» И ПРИЛЕГАЮЩЕЙ К НЕМУ ТЕРРИТОРИИ**

**Э.К. Попова, А.В. Сухов**

ФГУ «Государственный природный заповедник «Кивач»,  
п. Кивач, Кондопожский район, Республика Карелия, Россия  
e-mail: zap.kivach@gmail.com; popova.kivach@list.ru

Гидрографическая сеть Государственного природного заповедника «Кивач» относится к бассейну Балтийского моря (бассейн Онежского озера). Территорию заповедника пересекает река Суна – одна из крупнейших рек Карелии, впадающих в Онежское озеро. а также ее короткий приток р. Сандалка. Длина р. Суны составляет 280 км (по территории заповедника – 12 км), площадь водосбора – 7628 км<sup>2</sup> (Каталог..., 2001). Имеется 14 озер, из них три са-



мых крупных (Сундозеро – озеровидное расширение р. Суны, Пертозеро и Мунозеро – басс. р. Шуи) представлены небольшими участками акваторий в приграничных частях заповедника.

В режиме р. Суны выделяются три основных периода: естественное состояние водного режима; завершение строительства Гирвасской плотины и лесосплава; период после прекращения лесосплава. Изменения гидрологического режима реки не могло не сказаться на составе ихтиофауны. Как отмечает Ю.А. Смирнов (1971): «Суна являет пример наиболее тяжелых для рыбного хозяйства последствий гидростроительства, правда усугубленных лесосплавом».

В прошлом эта река имела большое рыболовное значение. Участок реки от водопада Кивач до устья был одним из лучших рыболовных угодий в бассейне Онежского озера. В конце XIX века уловы сига превышали 300 ц (Пушкарев, 1913; Правдин, 1946); в начале 30-х гг XX века вылавливали до 145 ц, в 1949 г. выловлено всего 15 ц (Озера Карелии ..., 1959), а к концу 50-х гг промысел сунского сига перестал существовать. В заповеднике Кивач последние подходы сига отмечались в реке Суне ниже водопада в конце 70-х гг. В последние 5 лет сунский сиг отмечен только однажды: в 2006 г. А.В. Суховым выловлен сиг, которого С.П. Китаев определил как *C. lavaretus lavaretoides* (Linnaeus, 1758) *patio sunensis* (Pravdin, 1929).

Лосось поднимался до водопада Кивач и в большом количестве входил в р. Сандалку (Берг, 1948). В двадцатые годы прошлого столетия уловы лосося в р. Суне составляли 21–30 ц (Кожин, 1927; Смирнов, 1979). В 30-х гг XX века в результате гидростроительства и лесосплава, река Суна перестала быть лососевой (Бискэ, Григорьев и др. 1975; Смирнов, 2008). Сначала исчез сандальский лосось (не стало нерестилищ), а затем прекратилось естественное воспроизводство озерно-речного сига, лосося, хариуса в р. Суне. Считается, что сунская популяция лосося исчезла окончательно после 1962 г. (Смирнов, 1979). Вселение лосося (по данным ФГУ «Карелрыбвод», в период 1997–2000 гг и в 2005 г в реку вселено 73400 экз. годовиков и двухгодовиков), осуществление рекультивации одного из нерестово-выростных угодий (Смирнов, 2006; 2008) дали положительные результаты: лосось выпусков 1997–2000 гг стал возвращаться в реку на нерест. Так, в 2008 г. плотность расселения молоди на восстановленном участке составила 240,0 экз./100м<sup>2</sup> (Щуров, Широков и др., 2008).

Сохранению численности популяций и появлению новых для водоемов заповедника видов способствуют такие факторы как вселение рыб (ряпушка, паляя, судак, лещ) и аквакультура (радужная форель). Так, в течение многих лет в оз. Мунозеро вселяли разновозрастную молодь леща, палии, личинок ряпушки; в оз. Пертозеро – личинок ряпушки, в оз. Сундозеро – судака разного возраста. Функционирование форелевого хозяйства привело к появлению в составе ихтиофауны оз. Сундозера радужной форели (табл. 1, 2).

В оз. Мунозере впервые отмечен четырехрогий бычок, рогатка *Trigloporus quadricornis* (Linnaeus, 1758) – арктический циркумполярный вид, проникающий в пресные воды, образующий в них своеобразные реликтовые формы. Он обитает в ряде крупных озер Норвегии, Швеции, Финляндии, России и Северной Америки. В Карелии живет в Ладожском и Онежском озерах, в озерах Сегозеро, Остер, Куйто (Кудерский, Лотарев, 1964; Ильмаст, Китаев и др. 2006).

Анализ литературных данных и собственных наблюдений показывает, что в настоящее время ихтиофауна водоемов заповедника и озер, примыкающих к его границам, насчитывает 30 видов рыб, принадлежащих к двадцати шести родам, четырнадцати семействам, восьми отрядам, двум классам. Виды *Pungitius pungitius* (Linnaeus, 1758) и *Cottus poecilopus* (Heckel, 1836) включены в список, но не учтены в общем количестве видов как неподтвержденные. Систематическое положение видов указано по «Атласу пресноводных рыб России» (2003), в отдельных случаях – по Л.С. Бергу (1948; 1949), кроме того, использовалась информация, имеющаяся в международной базе данных в порталах <http://www.Fishbase.org>. и <http://www.sevin.ru/vertebrates/>.

Таблица 1

## Видовой состав ихтиофауны реки Суна, озер Сундозеро и Пандозеро

Вид	Река Суна				Оз. Сундозеро				Оз. Пандозеро		
	Ивантер, 1969	Щербаков, 1988	выше водопа- да	ниже водо- пада	Озера Каре- лин, 1959	Ивантер, 1969	Щербаков, 1988	Наши данные	Ивантер, 1969	Щербаков, 1988	Наши данные
Минога – <i>Lampetra planeri</i> (Bloch, 1784 Озерный лосось – <i>Salmo salar</i> (Linnaeus, 1758) <i>morpho sebago</i> (Girard, 1853) Ручьевая форель – <i>S. trutta morpha fario</i> (Linnaeus, 1758) Радужная форель – <i>Parasalmo mykiss irideus</i> (Walbaum, 1792) Сиг – <i>Coregonus lavaretus lavaretus</i> (Linnaeus, 1758) Ряпушка – <i>C. albul</i> a (Linnaeus, 1758) Хариус – <i>Thymallus thymallus</i> (Linnaeus, 1758) Корюшка – <i>Osmerus eperlanus</i> (Linnaeus, 1758) Щука – <i>Esox lucius</i> (Linnaeus, 1758) Угорь – <i>Anquilla anquilla</i> (Linnaeus, 1758) Лещ – <i>Abramis brama</i> (Linnaeus, 1758) Голавль – <i>Leuciscus cephalus</i> (Linnaeus, 1758) Елец – <i>L. leuciscus</i> (Linnaeus, 1758) Язь – <i>L. idus</i> (Linnaeus, 1758) Плотва – <i>Rutilus rutilus</i> (Linnaeus, 1758) Уклейка – <i>Alburnus alburnus</i> (Linnaeus, 1758) Густера – <i>Blicca bjoerkna</i> (Linnaeus, 1758) Карась – <i>Carassius carassius</i> (Linnaeus, 1758) Пескарь – <i>Gjbio gobio</i> (Linnaeus, 1758) Щиповка – <i>Gobitis taenia</i> (Linnaeus, 1758) Голец усатый – <i>Barbatula barbatula</i> (Linnaeus, 1758) Налим – <i>Lota lota</i> (Linnaeus, 1758) Окунь – <i>Perca fluviatilis</i> (Linnaeus, 1758) Судак – <i>Stizostedion lucioperca</i> (Linnaeus, 1758) Ерш – <i>Gymnocephalus cernuus</i> (Linnaeus, 1758) Колошшка трехглазая – <i>Gasterosteus aculeatusfluviatilis</i> (Linnaeus, 1758) Подкаменщик обыкновенный – <i>Cottus gobio</i> (Linnaeus, 1758)	/	/	+	+	–	–	–	–	–	–	–
	+	/	–	+	–	–	–	–	–	–	–
	+	/	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	–	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–
	+	/	–	/	+	+	+	+	+	+	+
	+	+	–	–	+	+	+	+	–	–	–
	+	/	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	/	/	–	–	+	+	+	+	+	+	+
	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	/	/	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	–	–	–						

Примечание: знаком «+» обозначен обычный для водоема вид, «-» – отсутствующий вид, «/» – редкий вид

Таблица 2

## Видовой состав ихтиофауны озер Мунозеро и Пертозеро

Вид	Оз. Мунозеро				Оз. Пертозеро			
	Озера Карелии, 1959	Ивантер, 1969	Щербаков, 1988	Ильмаст и др., 2006	Озера Карелии, 1959	Ивантер, 1969	Щербаков, 1988	Крупец, Рыжков, 2008
Ручьевая форель – <i>S. trutta morpha fario</i> (Linnaeus, 1758)	–	–	–	–	+	+	–	–
Палия – <i>Salvelinus lepechini</i> (Gmelin, 1788)	–	–	–	+	–	–	–	–
Сиг – <i>Coregonus lavaretus lavaretus</i> (Linnaeus, 1758)	–	–	+	–	+	+	+	+
Ряпушка – <i>C. albus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+	+	+	+	+
Корюшка – <i>Osmerus eperlanus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+	+	+	+	+
Щука – <i>Esox lucius</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+	+	+	+	+
Лещ – <i>Abramis brama</i> (Linnaeus, 1758)	–	–	–	+	–	–	–	–
Елец – <i>L. leuciscus</i> (Linnaeus, 1758)	–	–	–	–	–	–	–	–
Плотва – <i>Rutilus rutilus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+	+	+	+	+
Уклейка – <i>Alburnus alburnus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+	+	+	+	+
Краснопёрка – <i>Scardinius erythrophthalmus</i> (Linnaeus, 1758)	–	–	–	–	+	+	–	+
Щиповка – <i>Gobitis taenia</i> (Linnaeus, 1758)	–	–	–	–	+	+	+	+
Голец усатый – <i>Barbatula barbatula</i> (Linnaeus, 1758)	–	–	–	–	+	+	+	+
Налим – <i>Lota lota</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+	+	+	+	+
Окунь – <i>Perca fluviatilis</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+	+	+	+	+
Ерш – <i>Gymnocephalus cernuus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	–	+	+	+	–	+
Подкаменщик обыкновенный – <i>Cottus gobio</i> (Linnaeus, 1758)	–	+	+	+	+	+	+	+
Колошкa трехиглая – <i>Gasterosteus aculeatus fluviatilis</i> (Linnaeus, 1758)	–	–	–	–	–	–	–	–
Колошкa девятииглая – <i>Pungitius pungitius</i> (Linnaeus, 1758)	–	–	–	–	–	–	–	+
Четырёхрогий бычок, ротатка – <i>Trigloporus quadricornis</i> (Linnaeus, 1758)	–	–	–	+	–	–	–	–

Примечание: знаком «+» обозначен обычный для водоема вид, «–» – отсутствующий вид, «>» – редкий вид

**Систематический список рыб водоемов бассейнов рек Суна и Шуя, расположенных на территории заповедника «Кивач» и примыкающих к его границам**

**Тип ПОЗВОНОЧНЫЕ – VERTEBRATA**

**Подтип ЧЕРЕПНЫЕ – CRANIATA**

**Класс КРУГЛОРОТЫЕ – CYCLOSTOMATA**

**Отряд PETROMYZONTIFORMES – МИНОГООБРАЗНЫЕ**

Сем. **PETROMYZONTIDAE** Bonaparte, 1832 – **Миноговые**

Род **Lampetra** Bonnaterra, 1788 – обыкновенные миноги

1. *L. planeri* (Bloch, 1784) – европейская ручьевая минога

**Класс OSTEICHTHYES – КОСТНЫЕ РЫБЫ**

**Подкласс ACTINOPTERYGII – ЛУЧЕПЕРЫЕ**

**Отряд SALMONIFORMES – ЛОСОСЕОБРАЗНЫЕ**

**Подотряд SALMONOIDEI – Лососевидные**

Сем. **SALMONIDAE** Rafinesque, 1815 – **Лососевые**

Род **Salmo** Linnaeus, 1758 – лососи

2. *S. salar* (Linnaeus, 1758) morph *sebag* (Girard, 1853) – атлантический лосось

3. *S. trutta* morph *fario* (Linnaeus, 1758) – ручьевая форель

Род **Parasalmo** Vladykov, 1972 – дальневосточные форели

4. *P. mykiss irideus* (Walbaum, 1792) – радужная форель

Род **Salvelinus** (Nilsson) Richardson, 1836 – гольцы

5. *S. lepechini* (Gmelin, 1788) – паляя

Сем. **COREGONIDAE** Cope, 1872 – **Сиговые**

Род **Coregonus** Lacépède, 1804 – сиги, ряпушки

6. *C. lavaretus lavaretus* (Linnaeus, 1758) – европейский сиг

7. *C. albula* (Linnaeus, 1758) – европейская ряпушка

Сем. **THYMALLIDAE** Gill, 1884 – **Хариусовые**

Род **Thymallus** Link, 1790 – хариусы

8. *T. thymallus* (Linnaeus, 1758) – европейский хариус

**Подотряд OSMEROIDAE – Корюшковидные**

Сем. **OSMERIDAE** Regan, 1913 – **Корюшковые**

Род **Osmerus** Lacépède, 1803 – корюшки

9. *O. eperlanus* (Linnaeus, 1758) – европейская корюшка

**Подотряд ESOCIDAE – Щуковидные**

Сем. **ESOCIDAE** Cuvier, 1816 – **Щуковые**

Род **Esox** Linnaeus, 1758 – щуки

10. *E. lucius* (Linnaeus, 1758) – обыкновенная щука

**Отряд ANQUILIFORMES – УГРЕОБРАЗНЫЕ**

Сем. **ANQUILIDAE** Rafinesque, 1810 – **Речные угри**

Род **Anquilla** Schrank, 1798 – речные угри

11. *A. anquilla* (Linnaeus, 1758) – речной угорь

**Отряд CYPRINIFORMES – КАРПООБРАЗНЫЕ**

Сем. **CYPRINIDAE** Bonaparte, 1832 – **Карповые**

Род **Abramis** Cuvier, 1816 – лещи

12. *A. brama* (Linnaeus, 1758) – лещ

Род **Leuciscus** Cuvier (ex Klein), 1816 – ельцы

13. *L. cephalus* (Linnaeus, 1758) – голавль

14. *L. leuciscus* (Linnaeus, 1758) – елец

15. *L. idus* (Linnaeus, 1758) – язь

Род **Rutilus** Rafinesque, 1820 – плотвы

16. *R. rutilus* (Linnaeus, 1758) – плотва

Род **Alburnus** Rafinesque, 1820 – уклейки

17. *A. alburnus* (Linnaeus, 1758) – уклейка

- Род **Blicca** Heckel, 1843 – густеры  
 18. *B. bjoerkna* (Linnaeus, 1758) – густера  
 Род **Carassius** (Jarocki, 1822) – караси  
 19. *C. carassius* (Linnaeus, 1758) – обыкновенный карась  
 Род **Gobio** Cuvier, 1816 – пескари  
 20. *G. gobio* (Linnaeus, 1758) – пескарь  
 Род **Scardinius** Bonaparte, 1832 – красноперки  
 21. *S. erythrophthalmus* (Linnaeus, 1758) – красноперка  
 Сем. **GOBITIDAE** Swainson, 1838 – **Вьюновые**  
 Род **Gobitis** Linnaeus, 1758 – щиповки  
 22. *C. taenia* (Linnaeus, 1758) – обыкновенная щиповка  
 Сем. **BALITORIDAE** Swainson, 1839 – **Балиториевые**  
 Род **Barbatula** Linck, 1790 – усатые гольцы, барбатули  
 23. *B. barbatula* (Linnaeus, 1758) – усатый голец

#### Отряд **GADIFORMES** – ТРЕСКООБРАЗНЫЕ

- Сем. **LOTIDAE** Jordan et Evermann, 1898 – **Налимовые**  
 Род **Lota** Oken, 1817 – налимы  
 24. *L. lota* (Linnaeus, 1758) – налим

#### Отряд **PERCIFORMES** – ОКУНЕОБРАЗНЫЕ

- Подотряд **PERCOIDEI** – Окуневидные  
 Сем. **PERCIDAE** Cuvier, 1816 – **Окуновые**  
 Род **Perca** Linnaeus, 1758 – пресноводные окуни  
 25. *P. fluviatilis* (Linnaeus, 1758) – речной окунь  
 Род **Stizostedion** Rafinesque, 1820 – судаки  
 26. *S. lucioperca* (Linnaeus, 1758) – обыкновенный судак  
 Род **Gymnocephalus** Bloch, 1793 – ерши  
 27. *G. cernuus* (Linnaeus, 1758) – обыкновенный ерш

#### Отряд **GASTEROSTEIFORMES** – КОЛЮШКООБРАЗНЫЕ

- Сем. **GASTEROSTEIDEI** Bonaparte, 1832 – **Колюшковые**  
 Род **Gasterosteus** Linnaeus, 1758 – трехиглые колюшки  
 28. *G. aculeatusfluviatilis* (Linnaeus, 1758) – трехиглая колюшка  
 Род **Pungitius** Gosta, 1848 – девятииглые колюшки  
*P. pungitius* (Linnaeus, 1758) – девятииглая колюшка

#### Отряд **SCORCPAENIFORMES** – СКОРПЕНООБРАЗНЫЕ

- Подотряд **COTTOIDEI** – Рогатковидные  
 Сем. **COTTIDAE** Bonaparte, 1832 – **Керчаковые**  
 Род **Cottus** Linnaeus, 1758 – подкаменщики  
 29. *C. gobio* (Linnaeus, 1758) – обыкновенный подкаменщик  
*C. poecilopus* (Heckel, 1836) – пестроногий подкаменщик  
 Род **Trigloporus** Girard, 1851 – рогатки  
 30. *T. quadricornis* (Linnaeus, 1758) – четырехрогий бычок, рогатка

#### Литература

- Атлас пресноводных рыб России: В 2 т. Т.1. / Под ред. Ю.С.Решетникова. 2003. М.: Наука. -379 с.  
 Атлас пресноводных рыб России: В 2 т. Т.2. / Под ред. Ю.С.Решетникова. 2003. М.: Наука. -253 с.  
 Берг Л.С. 1948. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран. М.-Л.: Изд-во АН СССР. Ч. I. 466 с.  
 Берг Л.С. 1949. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран. М.: Изд-во АН СССР. Ч. 3. С. 930–1381.  
 Бискэ Г.С., Григорьев С.В., Малинина Т.И., Смирнов А.Ф., Эпштейн Е.М. 1975. Онежское озеро. Петрозаводск: Изд-во «Карелия». 166 с.  
 Ивантер Э.В. 1969. О рыбах заповедника «Кивач» // Тр. заповедника «Кивач». Вып. 1. Петрозаводск. С. 146—148.  
 Ильмаст Н.В., Китаев С.П., Брызгин В.Ф., Павлов В.Н., Кучко Я.А., Хренников В.В. 2006. Мунозеро и его состояние // Тр. КНЦ РАН. Вып. 10. Петрозаводск. С. 40—51.

Каталог озер и рек Карелии / Под ред. Н.Н. Филатова и А.В. Литвиненко. 2001. Петрозаводск: Изд-во КНЦ РАН. 290 с.

Кожин Н.И. 1927. Материалы к познанию Онежского рыболовства. Рыбные промыслы нижнего течения р. Суны // Тр. Бородинской биол. ст. Т. 5. С. 225—440.

Крупень И.М., Рыжков Л.П. 2007. Оценка популяции ряпушки озера Пертозеро // Исследования по ихтиологии и смежным дисциплинам на внутренних водоемах в начале XXI века (к 80-летию профессора Л.А. Кудерского) / Под общ. ред. Д.И. Иванова. Сборник научных трудов. Вып. 337. СПб. М.: Товарищество научных изданий КМК. С. 418—424.

Кудерский Л.А., Лотарев В.А. 1964. Нахождение онежской рогатки (*Myoxocephalus quadricornis onegensis* Berg et Porov) в небольшом озере Онего-Сегозерского перешейка // Рыбн. хоз. Карелии. Вып. 8. Петрозаводск. С. 210—214.

Правдин И.Ф. 1946. Сиги водоемов Карело-Финской ССР. Петрозаводск: Гос. изд-во КФСР. 108 с.

Пушкарев Н.Н. 1913. Рыболовство в устье р. Суны // Вестн. рыбопром. № 9. С. 236—242.

Смирнов Ю.А. 1971. Лосось Онежского озера. Л.: Наука. 143 с.

Смирнов Ю.А. 1979. Пресноводный лосось. Л.: Наука. 156.

Смирнов Ю.А. 2006. Из опыта рекультивации нерестово-выростных угодий озерной формы атлантического лосося (*Salmo salar* L.) в останце реки Суна после молевого лесосплава // Тр. Гос. природ. заповедника «Кивач». Вып. 3. Петрозаводск. С. 127—138.

Смирнов Ю.А. 2008. Справка к истории починки нерестово-выростных угодий лосося (*Salmo salar* L.) в останце реки Суна // Тр. Гос. природ. заповедника «Кивач». Вып. 4. Петрозаводск. С. 150—153.

Справочник по объемам рыбоводно-акклиматизационных работ в Республике Карелия / Сост.: В.В. Сохнов, В.А. Сорокин, В.А. Валетов, Ю.В. Костылев. 2000. Фонды ФГУ «Карелрыбвод». 34 с.

Щербаков А.Н. 1988. Круглоротые и рыбы / Под ред. М.И. Шатуновского // Флора и фауна заповедников СССР. Фауна заповедника «Кивач». М. С. 6—9.

Щуров И.Л., Широков В.А., Тыркин И.А., Шульман Б.С. 2008. Результаты рекультивации нерестилища лосося в реке Суна // Тр. Гос. природ. заповедника «Кивач». Вып. 4. Петрозаводск. С. 154—155.

<http://www.Fishbase.org>

<http://www.sevin.ru/vertebrates/>.

## FISHES OF RESERVOIRS OF THE KIVACH STATE NATURE RESERVE AND ADJACENT TERRITORIES

**E.K. Popova, A.V. Sukhov**

State nature reserve «Kivach», Kivach, Kondopozhsky dist., Republic of Karelia, Russia

e-mail: zap.kivach@gmail.com; popova.kivach@list.ru

The article presents the regular list of fishes populating the basins of the rivers Suna and Shuya located on the territory of the Kivach reserve and near its borders.

The analysis of published data and results of special observations shows that in the present time the fauna of the rivers and lakes of the reserve and around its borders counts as many as thirty species of fish belonging to twenty-six genera, fourteen families, eight orders, two classes. The systematic position of species is given according to the Atlas of Freshwater Fish of Russia (2003) and, in some cases, according to Berg (1948, 1949). In addition, the information from international data bases presented by <http://www.fishbase.org> and <http://www.sevin.ru/vertebrates> was also used throughout the creation of the article.

## ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ НУКЛЕИНОВЫХ КИСЛОТ В ТКАНЯХ КАРПА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ АЛЛОХТОННОГО АЗОТА В ВОДЕ И ТЕМПА РОСТА РЫБ

**А.С. Потрохов**

Институт гидробиологии НАН Украины, г. Киев

e-mail: alport@bigmir.net

Наиболее распространенными загрязнителями водной среды являются соединения минерального азота, в первую очередь аммиак, ионы аммония и нитритов. Азотсодержащие соединения имеют широкий спектр токсического действия на рыб, характер и степень влияния которого может быть определен по ряду их физиологических и биохимических показателей.

Известно, что РНК в живых клетках в первую очередь являются переносчиками и матрицами информации необходимыми для синтеза протеинов, поэтому по изменениям содержания этих нуклеиновых кислот возможно судить об уровнях синтетической активности белков в организме животных, в том числе и у рыб [Sharma et al., 2006]. В настоящее время показатели нуклеинового обмена (содержание РНК, ДНК и их соотношение) в большей мере используют как индикаторы интенсивности роста клеток и организма в целом, а также как характеристики суммарной активности метаболического функционирования живых существ разных систематических уровней [Fonseca et al., 2006; Gwak, Tanak, 2001; Meesters et al., 2002; Houlihan et al., 1993]. Кроме того с помощью индекса РНК/ДНК различных тканей возможно оценить условия питания рыб [Bergeron, 1997; Clemmesen, 1994].

Целью нашей работы было оценить, насколько адекватно изменение содержания нуклеиновых кислот в тканях рыб отражает как токсическую нагрузку аллохтонным азотом, так и связанной с ней активностью метаболических процессов в организме.

### Материал и методы

Эксперименты были проведены на Белоцерковской экспериментальной гидробиологической станции Института гидробиологии НАН Украины. В пятилетних хронических экспериментах использовали годовиков карпа, завезенные из прудового хозяйства с нормативными гидрохимическими показателями (1 серия), и рыбы, постоянно подвергавшиеся действию минерального азота (2 серия). Рыбы были расселены в три пруда площадью 0,04 га со средней глубиной 1,2 м. В опытные пруды с подземными сточными водами поступал минеральный азот в высоких концентрациях. Контрольный водоем снабжался водой из р. Рось.

Содержание минерального азота в воде контрольного пруда (№ 1) составляло: аммонийный азот – 0,088–0,243 мг N/дм<sup>3</sup>; нитритный – 0,003–0,01; нитратный – 0,1–0,28 мг N/дм<sup>3</sup>. В опытных водоемах № 2 и № 3 концентрация аммония соответственно составляла весной – 9,1–21,5; 13,6–26,5 мг N/дм<sup>3</sup> (9–21, 13–26 ПДК), летом – 13,7–35,7; 15,0–65,4 (14–36, 15–65 ПДК), осенью – 29,2–42,5; 27,9–62,2 мг N/дм<sup>3</sup> (29–42, 28–62 ПДК); нитритов (в двух прудах) – весной 0,99–1,46 мг N/дм<sup>3</sup> (12–18 ПДК), летом 1,75–3,27 мг N/дм<sup>3</sup> (22–41 ПДК), осенью 0,32–1,83 мг N/дм<sup>3</sup> (4–23 ПДК). Концентрация нитратов в воде весной составляла 6,27–21,61 мг N/дм<sup>3</sup>; летом – 8,32–19,04 мг N/дм<sup>3</sup>.

В период исследований для кормления рыб искусственные корма не применялись.

Содержание нуклеиновых кислот определялось спектрофотометрическими методами: ДНК по Спирину, РНК по Флеку и Мунро [Методы ..., 1974].

Полученные данные обработаны статистически с помощью программы Statistica 5.5.

### Результаты и обсуждение

Как показали наши исследования, длительное пребывание рыб в условиях повышенного содержания минерального азота в воде существенно сказывалось на их темпах роста. Причем в вегетационный период, несмотря на превышение всех рыбохозяйственных норм по содержанию ионов аммония и нитритов в воде, подопытные карпы имели более высокие как линейные, так и весовые темпы роста (рис. 1). Что, по нашему мнению, связано с повышением общей трофности водоемов, в которые поступал аллохтонный азот. В данных прудах отмечались как более высокие значения биомассы фитопланктона и зоопланктона, так и бентосных организмов по сравнению с контролем. В тоже время в зимний период под воздействием токсичной среды отмечено значительное снижение массы рыб из прудов, подвергавшихся действию токсикантов. В первые два года наблюдалась смертность карпа в водоемах с высоким содержанием аллохтонного азота. Однако на протяжении следующего вегетационного периода подопытные рыбы быстро восстанавливали свою массу и темпы их роста начинали опережать контрольных особей.

Содержание РНК, соотношение РНК/ДНК в органах и тканях достаточно адекватно отображали темпы роста рыб или изменения активности биосинтетических процессов в их организме под воздействием токсичного загрязнения, которое в свою очередь влияло на функционирование всего биотопа.

Так, отмечены прямые корреляционные зависимости между содержанием РНК в мышцах и приростом длины и массы рыб в период наиболее продуктивного вегетационного периода (с мая по июль). При этом коэффициенты корреляции между этими показателями на протяжении пяти лет исследований составляли от +0,61 до +1,0 для темпов линейного роста и от +0,39 до +0,78 для прироста

та массы тела рыб. При быстром росте рыб взаимосвязь между содержанием РНК в мышцах и ростом рыб ближе, при неблагоприятных условиях (низкие температуры воды, недостаточность кормовой базы) меньше. Соотношение РНК/ДНК в целом повторяли отмеченные закономерности, и коэффициент корреляции составляли  $+0,39 - +0,59$  (линейный рост),  $+0,65 - +0,91$  (масса рыб).

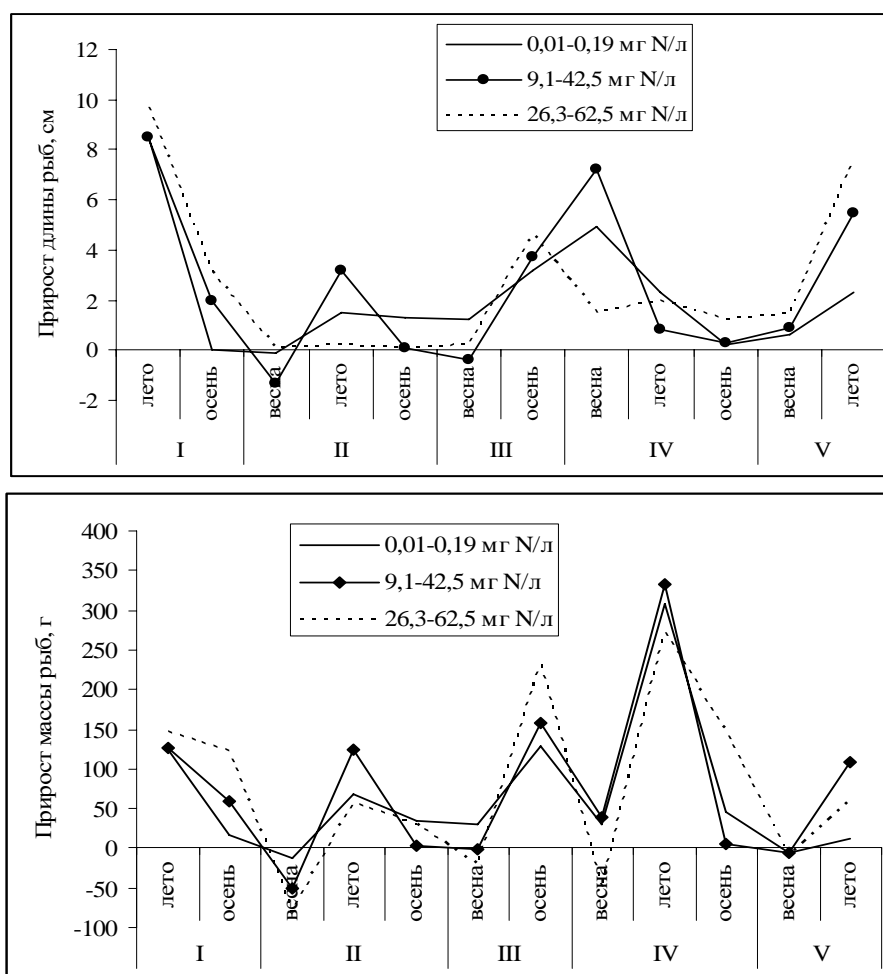


Рис. 1. Темпы роста карпа под действием аллохтонного азота, по аммонийному азоту

С середины лета до осени в период, когда активный рост замедлялся, и рыбы начинали накапливать запасные, энергоемкие вещества в своем организме, корреляционная зависимость между содержанием РНК ( $r = -0,57 - -1,0$ ) и соотношением РНК/ДНК ( $r = -0,79 - -0,99$ ) к темпам роста носила отрицательных характер. Таким образом, в этот сезон усиливался липидный и углеводный обмен, в мышцах активно накапливались запасные липиды и гликоген.

При сравнении темпов роста рыб и содержания РНК, а также соотношения РНК/ДНК в печени рыб отмечаются лишь корреляционные зависимости между РНК/ДНК коэффициентом и приростом рыб. Данный показатель в меньшей степени зависел от количества накопленных запасных веществ в печени и, по сути, характеризует содержание РНК в клетки ткани. В период быстрого роста рыб наблюдается положительная зависимость между РНК/ДНК индексом и темпами роста карпа ( $r = +0,56 - +1,0$ ), при низких значениях скорости роста рыб отрицательная ( $-0,72 - -1,0$ ). Это свидетельствует о том, что при усилении активности метаболизма рыб, направленной на рост их массы и линейных размеров, отмечается увеличение количества РНК в клетках печени. Известно, что клетки этого органы полифункциональны и активно участвуют в биосинтетических процессах, в частности синтеза белков. А при снижении темпов роста при подготовке рыб к зимовке количество РНК в тканях печени уменьшается, усиливается процессы накопления липидов и гликогена в этом органе.

Однако, несмотря на наличие коррелятивных зависимостей между темпами роста рыб и содержанием РНК, РНК/ДНК индексом нельзя не учитывать влияние токсичной среды на изменение



показателей нуклеинового обмена. Так как в процессе адаптации рыб к действию аллохтонного азота активно подключаются множество биохимических процессов, усиливается активность всех компенсаторных механизмов. Одним из проявлений чего и является изменение общего количества РНК в тканях и органах рыб.

При рассмотрении показателей нуклеинового обмена, особое внимание обращает на себя цикличность в сезонной направленности изменений (отклонений от нормы) физиолого-биохимических процессов у рыб под действием избыточного поступления аллохтонного азота. Необходимо отметить, что показатель РНК/ДНК в мышцах экспериментальных и контрольных рыб имеет схожую сезонную изменчивость и разница между контрольными показателями и теми, что наблюдались в тканях у рыб, подвергающихся действию минерального азота, заключалась в амплитуде сезонных колебаний уровня РНК/ДНК. Разница между минимальными значениями неполовозрелых особей (осень 1 года) и максимальными (лето 2 года) составляет у контрольных рыб 1,9 раз, а у рыб из загрязненных прудов № 2 та № 3 – в 6,1 и 5,7 раз соответственно (рис. 2). По мере прохождения процессов адаптации рыб к существующим условиям среды амплитуда колебаний РНК/ДНК-индекса в мышцах уменьшается.

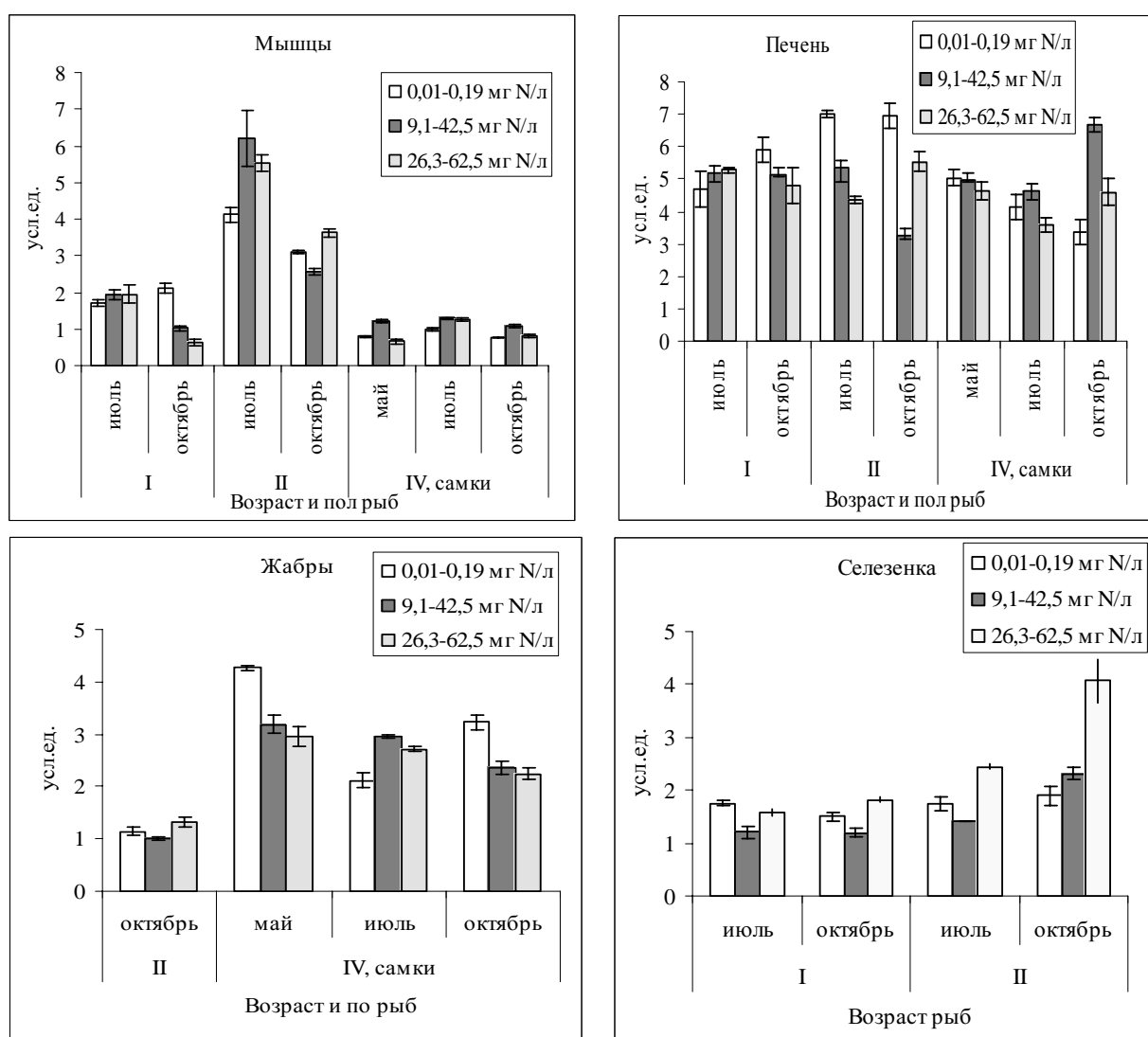


Рис. 2. Влияние избыточных концентраций аллохтонного азота на соотношение РНК/ДНК в тканях карпа

Содержание РНК в печени за весь период наблюдений, за исключением мая, было более высоким у подопытных рыб, находившихся под воздействием избыточного поступления аллохтонного азота в водоемы. Одним лишь увеличением или уменьшением накопления макроэргических ве-

ществ в тканях печени рыб это явление объяснить не возможно, поскольку оно изменялось независимо от этого показателя. Достовернее все же, что благодаря усилению процессов дезаминирования и трансаминирования, протекающие в печени, усиливается синтез белков, которые прямо принимают участие в уменьшении негативного влияния высоких концентраций эндогенного аммония. Лишь только весной метаболическая активность опытных рыб заметно снижена по сравнению с контрольными особями, вероятно, в зимний период карпы максимально изолируются от внешней токсичной среды, активность метаболизма снижается, основным поставщиком энергии становится гликолиз и катаболизм белков. Показатель РНК/ДНК в печени менее адекватно отображает физиологическое состояние рыб. Поскольку количество ДНК на клетку показатель стабильный, а в процессе накопления или потери запасных веществ в клетках этого органа существенно изменяются. Исходя из полученных данных, РНК/ДНК индекс более свидетельствует об уровне накопления липидов в тканях печени рыб, при чем годовая динамика этих изменений совпадает с характеристиками липидного обмена контрольных и подопытных карпов.

В жабрах, которые преимущественно отвечают у рыб за выведение избыточного эндогенного азота из организма, летом и осенью также наблюдается повышение содержания РНК под воздействием высоких концентраций аллохтонного азота в перерасчете на массу ткани. Это также свидетельствует, что активное противодействие токсичному влиянию внешнего минерального азота в вегетационный период осуществляется благодаря повышению белоксинтезирующей активности, с другой стороны в зимний период наблюдается пассивное противодействие токсикантам, выражающееся в снижении общей метаболической активности. Тенденции изменений соотношения РНК к ДНК в жабрах карпов под воздействием аллохтонного азота в целом подтверждают эти предположения (см. рис. 2).

Активность функционирования селезенки в большей мере зависит от нитритной составляющей общего азотного загрязнения, а затем уже от содержания аммиака и ионов аммония. Этот узкоспециализированный орган выполняет функцию эритропоэза и синтеза гемоглобина. Его метаболическая активность существенно повышается, поскольку значительное количество нитритов вызывает трансформацию гемоглобина в метгемоглобин [Jensen, 1990; Knudsen, Jensen, 1997; Avilez et al., 2004], сокращается продолжительность жизни эритроцитов [Scarano et al., 1984], чем затрудняет транспорт кислорода по организму. Повышение метаболической активности в селезенке является компенсаторным механизмом в ответ на действие токсикантов. Самое заметное повышение содержания РНК и соотношения РНК/ДНК наблюдалось у рыб из наиболее загрязненного пруда № 3. По всей видимости, увеличение общей массы селезенки в 2–3 раза у подопытных рыб при действии минерального азота сопровождается также усилением белоксинтезирующей активности во всех клетках этого органа, что и подтверждается ростом соотношения РНК/ДНК на 22,1–114,2 % по сравнению с контролем.

При сравнении данных по изменению показателей нуклеинового обмена карпов из двух серий отмечается, что у рыб, адаптированных к действию загрязнителей, уровень прохождения метаболических процессов в мышцах и жабрах выше в сравнении с показателями карпов из 1 серии, и при поступлении минерального азота в воду оно существенно не изменяется. Менее адаптированные рыбы в противодействие токсичному влиянию аллохтонного азота активируют синтез протеинов, что проявляется в увеличении количества РНК и соотношения РНК/ДНК, особенно в печени и жабрах – органах, которые отвечают за процессы детоксикации и экскреции избыточного аммиака из внутренней среды. Таким образом, продолжительный отбор карпов по адаптивной способности к влиянию избыточного поступления минерального азота отражался на ходе метаболических процессов в их организме.

### **Выводы**

При влиянии высоких концентраций аллохтонного азота на рыб наблюдается как прямое, так опосредованное действие токсикантов на показатели нуклеинового обмена (содержание РНК и соотношения РНК/ДНК).

Прямое действие минерального азота проявляется в повышении активности прохождения метаболических процессов в организме рыб. Более высокая белоксинтезирующая функция органов и тканей карпа способствует росту устойчивости рыб к действующему фактору.

Опосредованное воздействие аллохтонного азота связано с функционированием всего биотопа, в частности с повышением трофности водоемов. При этом подопытные рыбы, для которых высокий уровень прохождения метаболических процессов, находясь в более выгодных кормовых условиях, характеризуются повышенными темпами линейного и весового роста, что в свою очередь связано с увеличением содержания РНК в тканях и органах.

Изменение содержания РНК и соотношения РНК/ДНК в тканях рыб зависит от температуры воды и сезона года. И в целом данные показатели адекватно характеризует активность метаболизма рыб при действии высоких концентраций минерального азота.

Существенное значение в устойчивости рыб к влиянию минерального азота имеет предварительная адаптация карпа, а также длительное их содержание в условиях действующего фактора.

### Литература

Методы биологии развития. Экспериментально-эмбриологические, молекулярно-биологические и цитологические, 1974 / М.: Наука. 1974. 619 с.

Avilez I.M., Altran A.E., Aguiar L.H., Moraes G., 2004. Haematological responses of the neotropical teleost matrinxã (*Brycon cephalus*) to environmental nitrite // Comparative Biochemistry and Physiology. Part C, Vol. 139. P. 135–139.

Bergeron J. P., 1997. Nucleic acids in ichthyoplankton ecology: a review, with emphasis on recent advances for new perspectives // Journal of Fish Biology. Vol. 51 (A). P. 284–302.

Clemmesen C., 1994. Importance and limits of RNA/DNA ratios as a measure of nutritional condition in fish larvae. Survival strategies in early life stages of marine resources / Proceedings of International workshop, 11–14 October, Yokohama, Japan. P. 67–82.

Fonseca V. F., Vinagre C. V., Cabral H. N., 2006. Growth variability of juvenile soles *Solea solea* and *Solea senegalensis*, and comparison with RNA: DNA ratios in the Tagus estuary // Portugal. Journal of Fish Biology. Vol. 68. P. 1551–1562.

Gwak W. S., Tanaka M., 2001. Developmental change in RNA: DNA ratios of fed and starved laboratory-reared Japanese flounder larvae and juveniles, and its application to assessment of nutritional condition for wild fish // Journal of Fish Biology. Vol. 59. P. 902–915.

Houlihan D. F., Mathers E. M., Foster A. 1993. Biochemical correlates of growth rate in fish / Fish Ecophysiology, Chapman and Hall, London. P. 45–71.

Jensen F.B., 1990. Nitrite and red cell function in carp: control factors for nitrite entry, membrane potassium ion permeation, oxygen affinity and methaemoglobin formation // Journal of Experimental Biology. Vol. 152. P. 149–166.

Knudsen P.K., Jensen F.B., 1997. Recovery from nitrite-induced methaemoglobinaemia and potassium balance disturbances in carp // Fish Physiology and Biochemistry. Vol. 16. P. 1–10.

Meesters E. H., Nieuwland G., Duineveld G. C. A., Kok A., Bak R. P. M., 2002. RNA/DNA ratios of scleractinian corals suggest acclimatisation/adaptation in relation to light gradients and turbidity regimes Marine ecology // Progress series (Mar. ecol., Prog. ser.). Vol. 227. P. 233–239.

Scarano G., Saroglia M.G., Gray R.H., Tibali E., 1984. Haematological responses of sea bass *Dicentrarchus labrax* to sublethal nitrite exposures // Transactions of the American Fisheries Society, Vol. 113. P. 360–364.

Sharma J.G., Gwak W.S., Masuda R., Tanaka M., Chakrabarti R., 2006. Survival, growth and RNA/DNA ratio of *Pagrus major* cultured under three different feeding regimes during early development // Asian Fisheries Science. Vol. 19. P. 389–400.

## CHANGE OF CONTENTS OF NUCLEIC ACIDS IN TISSUES OF CARP DEPENDING ON CONCENTRATION OF ALLOCHTHONOUS NITROGEN IN WATER AND RATE OF GROWTH OF FISH

A.S. Potrokhov

Institute of hydrobiology of NA of Sci of Ukraine, Kiev

e-mail: alport@bigmir.net

At influence of allochthonous nitrogen on fishes there is as direct, so mediated action of toxins on the indexes of nucleic exchange (the contents RNA and the RNA/DNA ratio).

Direct action of mineral nitrogen shows up in the increase of activity of passing of metabolic processes in the organism of fishes. More high protein synthesizing function of organs and tissues of carp is promoted in growth of resistance of fishes to the acting factor.

The mediated influence of allochthonous nitrogen is related to functioning of all biotope, in particular with the increase of food capacity of reservoirs. Thus experimental fishes, for which is marked at high level of metabolic processes, being in more advantageous forage conditions, is characterized by the promoted rates of linear and weight growth, that in the turn is related to the increase of the contents RNA in tissues and organs.

The contents RNA of and the RNA/DNA ratio in tissues adequately characterize activity of metabolism of fishes at action of high concentrations of mineral nitrogen.

## **АКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕКИСНОГО ОКИСЛЕНИЯ ЛИПИДОВ У КАРПА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ МИНЕРАЛЬНОГО АЗОТА**

**А.С. Потрохов, О.Г. Зиньковский, Н.А. Могилевич**

Институт гидробиологии НАН Украины, г. Киев

e-mail: alport@bigmir.net

Образование перекисей, свободных радикалов, гидроперекисей и других продуктов перекисного окисления имеет место относительно всех веществ-восстановителей, однако, в первую очередь, эти процессы наиболее активно протекают по отношению к липидам. Липиды активно связывают свободные радикалы и другие перекиси в антиоксидантной системе организма. Поскольку липиды являются основой всех внутриклеточных мембран, а также играют существенную роль в метаболизме клетки, то равновесие протекания перекисных и антиоксидантных процессов является одним из необходимых условий нормального функционирования организма. Нарушение этого равновесия всегда свидетельствует о наличии патологии или стресса.

В норме у животных существует равновесие прооксидантных и антиоксидантных процессов. Вследствие этого перекисное окисление протекает на определенном стационарном уровне. Активация перекисного окисления липидов (ПОЛ) может рассматриваться как компонент неспецифической реакции организма на экстремальные влияния, то есть как звено стресс-реакции [Барабой и др., 1991].

Процесс ПОЛ в интактной клетке поддерживается на стационарном уровне с помощью системы, которая организована по принципу негативной обратной связи. В этой системе количество естественных антиоксидантов, состав и окисляемость липидов взаимозависимы таким образом, что возможно осуществление эффективной регуляции процессов ПОЛ. Показано, что при направленной модификации липидного субстрата взаимосвязь между параметрами сохраняется также при развитии патологических состояний [Паранич и др., 1990].

Образование избыточного количества перекисных продуктов, которое имеет место при развитии патологии, приводит к нарушению структурной и функциональной организации клеточных мембран, изменению их проницаемости и ионного баланса в клетках, разъединению окислительно-фосфорилирования, окислению тиольных групп белков и дезактивации ферментов [Козлов и др., 1972].

Из рассмотренных примеров вытекает, что активность протекания ПОЛ и активность антиоксидантных систем и соотношения этих разнонаправленных процессов могут служить интегральными показателями состояния организма.

Сдвиг равновесия активности антиоксидантной системы и протекания свободно-радикальных процессов, в частности в системе ПОЛ, со значительной степенью достоверности отображает именно активность и уровень действия факторов окружающей среды на организм в основном вне зависимости от того, какой конкретный фактор есть стрессором. Изменение показателей ПОЛ имеет выраженную тканевую специфичность, то есть для различных клеток и тканей характерен разный тип реагирования системы ПОЛ и антиоксидантной системы на действие стрессоров.

При действии на рыб ряда экстремальных факторов отмечено снижение антиокислительной активности (АОА) тканей, что приводит к активации ПОЛ и накоплению токсичных гидроперекисей липидов [Аверьянов и др., 2000]. У рыб изменения свободнорадикального окис-

ления под действием стресса является эффективным механизмом перестройки внутриклеточных мембран в ходе их адаптации к новым условиям жизни. При действии аммиака в предельной концентрации функционирования специфических систем ПОЛ обеспечивает определенный гомеостатичный уровень свободнорадикальных процессов, необходимый для нормального функционирования клеток. При этом накопления токсичных продуктов ПОЛ не происходит [Грубинко и др., 1996].

Таким образом, изменение содержания промежуточных продуктов ПОЛ (гидроперекисей липидов, диеновых конъюгатов) или конечного продукта ПОЛ (малонового диальдегида) могут быть тест-показателями при оценке токсичности среды, радиационной нагрузки и других патологиях.

Целью данной работы было оценить степень воздействия повышенных концентраций аллохтонного азота на протекание процессов перекисного окисления липидов в тканях и органах карпа. Также нами рассматривалась возможность использования основных показателей ПОЛ у рыб для оценки экологического состояния водоемов.

### **Материал и методы**

Условия проведения пятилетнего эксперимента описаны в статье, опубликованной в данном издании (Потрохов А.С. Изменение содержания нуклеиновых кислот в тканях карпа в зависимости от концентрации аллохтонного азота в воде и темпа роста рыб).

Влияние факторов среды на свободнорадикальные процессы в организме рыб изучалось на основе регистрации содержания диеновых конъюгатов [Стальная, 1977], гидроперекисей липидов [Романова, Стальная, 1977], малонового диальдегида [Стальная, Гаришвили, 1977].

Полученные данные обработаны статистически с помощью программы Statistica 5.5.

### **Результаты и обсуждение**

Содержание продуктов ПОЛ в органах рыб свидетельствует об активности протекания метаболических процессов в организме или же их дисбалансе и напряжении, вызванном действием стрессовых факторов разной природы. Как показали наши исследования, наиболее адекватно влияние избыточного поступления аллохтонного азота отображается на начальных стадиях ПОЛ изменением содержания гидроперекисей липидов в печени и жабрах. Если весной наибольшее количество гидроперекисей в печени наблюдается у контрольных особей, которые раньше вступили в период активизации физиологических процессов, то летом и осенью повышенный обмен веществ наблюдается у подопытных рыб, что связано как с высокими темпами роста этих карпов, так и токсической нагрузкой среды (рис.1). Однако, в жабрах рыб, которые подвергались действию высоких концентраций соединений минерального азота, в течение всего года накопление гидроперекисей липидов было максимальным. Причем осенью наблюдается прямая зависимость между концентрацией аллохтонного азота и количеством гидроперекисей в жабрах подопытных рыб, что свидетельствует об активном противодействии токсичному влиянию ионов аммония и нитритов на функционирование организма в этот период года.

В мышцах и печени контрольных рыб весной отмечено более высокое содержание диеновых конъюгатов и малонового диальдегида (рис. 2, 3). Данный факт также свидетельствует о высоком уровне метаболизма контрольных карпов в начале вегетационного периода.

Для рыб, находившихся под воздействием аллохтонного азота, при благоприятном температурном режиме характерны более низкие значения содержания диеновых конъюгатов по сравнению с контрольными показателями. У этих рыб, благодаря активизации компенсаторных механизмов, противодействующих негативным факторам, несколько снижается образование промежуточных продуктов ПОЛ (гидроперекисей липидов) или же они достаточно быстро окисляются до малонового диальдегида. Данный факт также свидетельствует об активизации антиоксидантной системы рыб. В тоже время при падении температуры воды и на фоне снижения активности всех ферментативных процессов, в частности детоксикации эндогенного азота, отмечается дозозависимое увеличение количества диеновых конъюгатов как в мышцах, так и печени рыб. Экто указывает на то, что основные негативные проявления токсического действия аллохтонного азота на рыб наблюдаются в холодное время года.

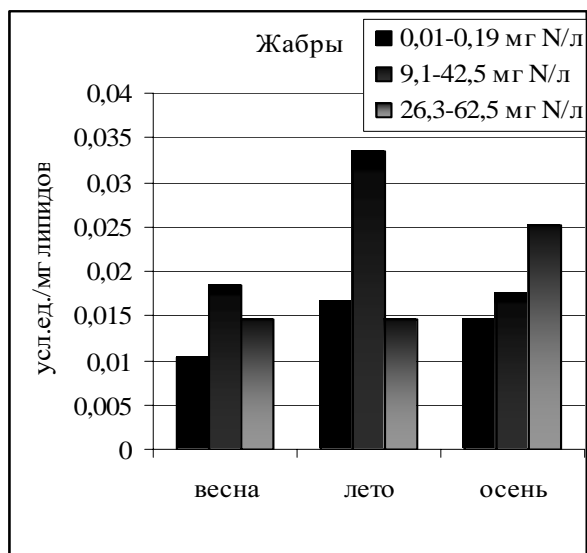
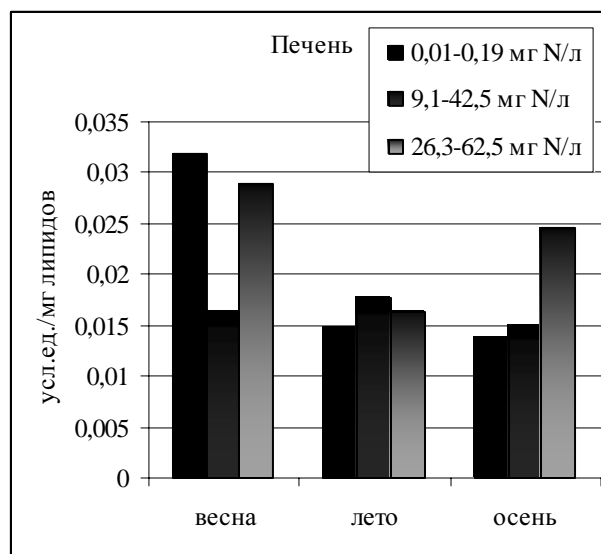
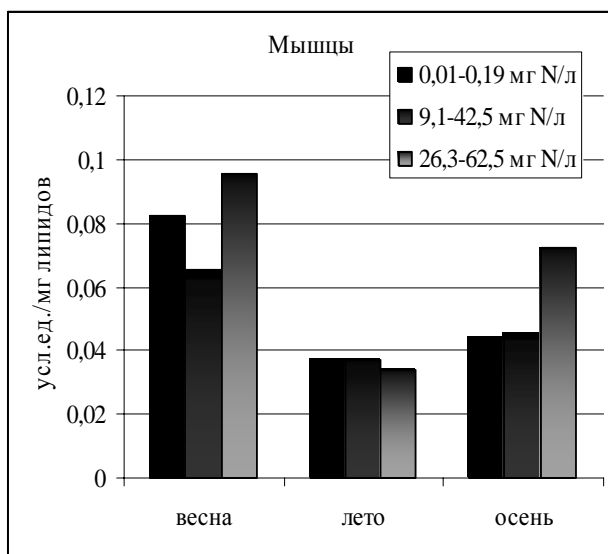


Рис. 1. Изменение содержания гидроперекисей липидов в органах и тканях карпа под действием высоких концентраций минеральных форм азота, по аммонийному азоту

Летом под воздействием высоких концентраций минерального азота существенно растет количество малонового диальдегида (конечного продукта ПОЛ) в печени опытных рыб в прямой зависимости от силы действующего фактора. Осенью же содержание продуктов ПОЛ в органах подопытных рыб превышало контрольные значения в 1,4–2,2 раза.

Результаты исследований, проведенных на животных [Барабой и др., 1991; Козлов и др., 1972; Winston, Di Giulio., 1991] и на рыбах [Аверьянов и др., 2000; Грубинко и др., 1996; Потрохов и др., 2003], позволяют утверждать, что исходя из нарушения равновесия между перекисным окислением липидов и активностью антиоксидантных систем можно судить о характере и степени изменений активности метаболизма в целом и о преобладании в нем биосинтетических процессов или процессов катаболизма. Изменение содержания продуктов ПОЛ (диеновых конъюгатов, гидроперекисей липидов и малонового диальдегида) свидетельствуют об активности протекания обмена веществ у рыб и степени его дисбаланса под действием неблагоприятных факторов [Грубинко и др., 1996; Потрохов и др., 2003]. Вероятно, динамика изменения содержания продуктов ПОЛ в тканях карпа отображает активность метаболизма, баланс процессов синтеза и распада веществ в тканях рыб.

Нашими исследованиями установлено, что в период активного роста при достаточном питании метаболизм рыб усиливался. Соответственно в мае отмечено наибольшее количество малонового диальдегида и диеновых конъюгатов в мышцах и печени рыб.

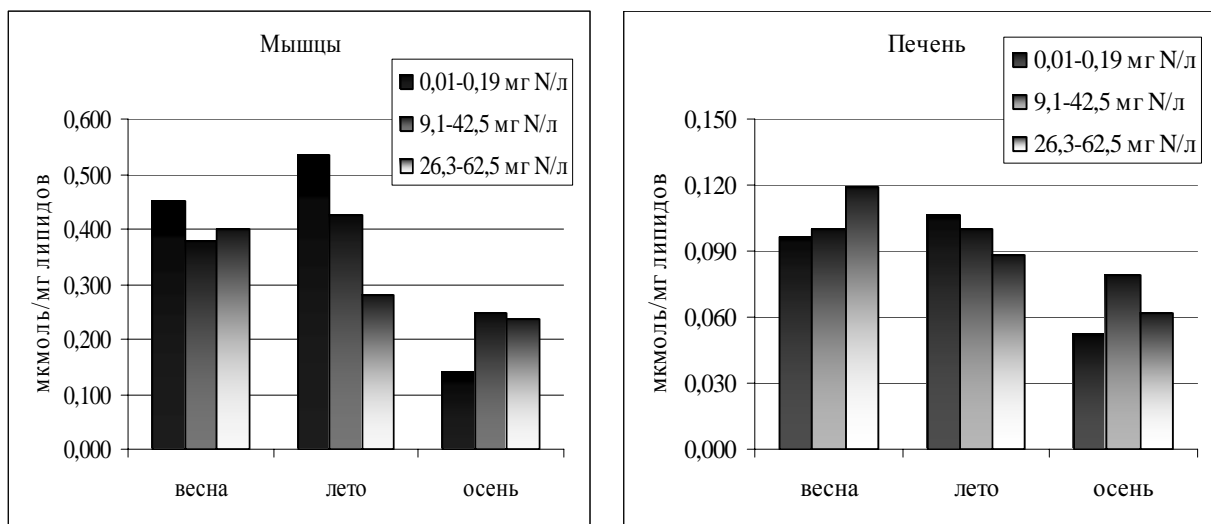


Рис. 2. Среднесезонные значения содержания диеновых конъюгатов в тканях карпа под действием аллохтонного азота.

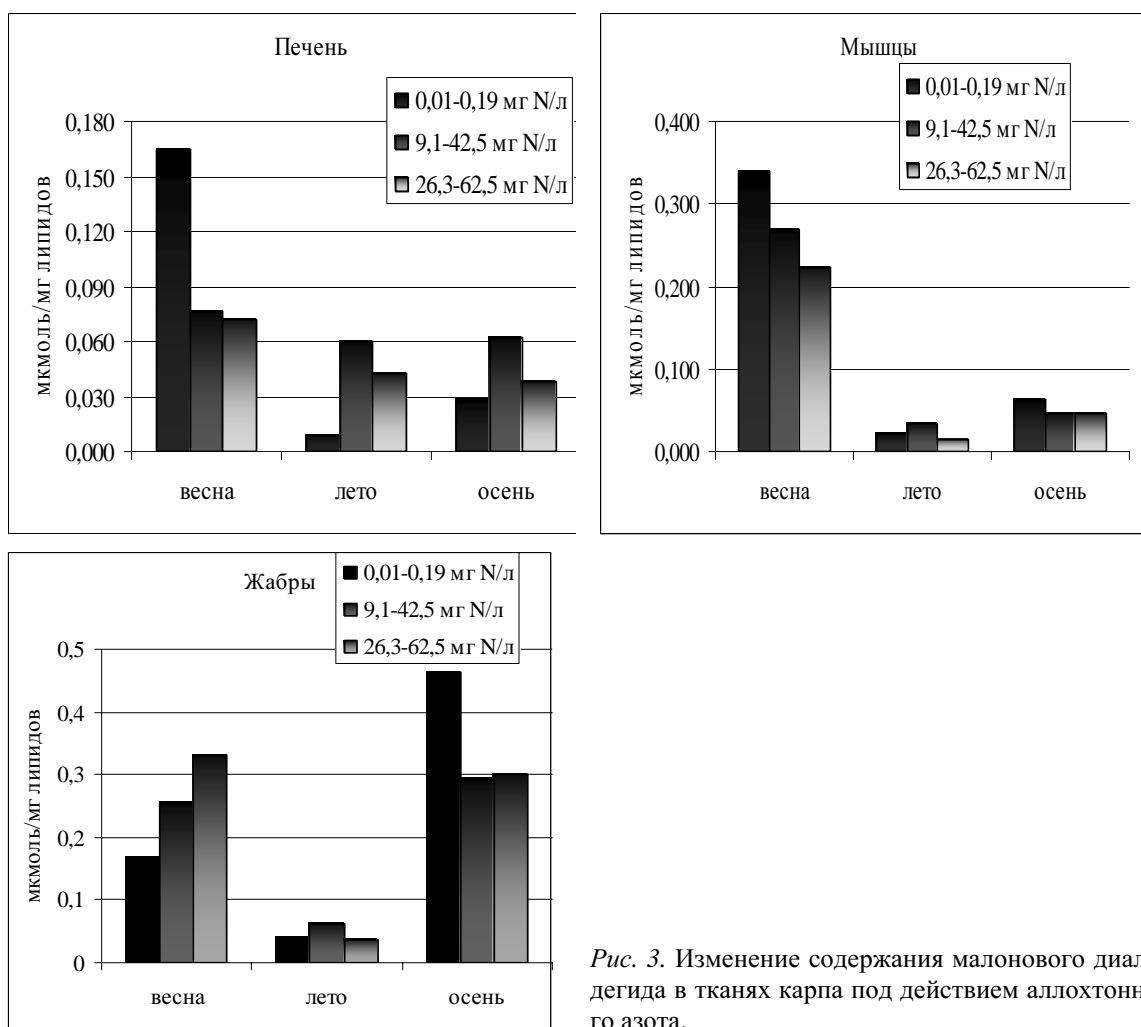


Рис. 3. Изменение содержания малонового диальдегида в тканях карпа под действием аллохтонного азота.

Летом содержание малонового диальдегида существенно снижалось (в 3,4–6,3 раз в зависимости от ткани, за исключением печени), содержание диеновых конъюгатов в печени и мышцах несколько повышалось. Заслуживает внимания то, что летом показатели количества

диеновых конъюгатов и малонового диальдегида в мышцах, жабрах, селезенке в трех группах рыб существенно не отличались. Вероятно, в условиях высокой температуры воды поступающий аллохтонный азот поддается активному превращению в трофической цепи экосистемы водоема и токсичное влияние разных форм его на рыб сводится к минимуму. Лишь в печени наблюдалось значительное превышение уровня содержания малонового диальдегида у подопытных рыб по сравнению с контрольными, что, вероятно, свидетельствует об активных процессах в системах эндогенной детоксикации и экскреции избыточного аммиака. Отсутствие существенных отличий в содержании промежуточных продуктов ПОЛ в тканях опытных и контрольных рыб позволяет заключить, что летом метаболические процессы протекали на достаточно высоком уровне без значительной патологии или дисбаланса, и у подопытных рыб токсическое действие соединений минерального азота было компенсировано.

Однако, противоположная ситуация отмечается осенью. Содержание продуктов ПОЛ в органах опытных рыб превышает контрольные значения в 2–3 раза. Вероятнее всего это может быть проявлением нескольких, связанных между собой процессов, вызванных поступлением соединений азота в водоемы. Во-первых, с понижением температуры воды усиливается токсичное действие аллохтонного азота на карпа, что приводит к нарушению равновесия и сбалансированности между активностью антиоксидантной системой и процессом перекисного окисления липидов. Так, активный обмен веществ, обусловленный действием токсикантов, требует дополнительных энергетических затрат, в результате чего не происходит достаточного накопления запасных веществ в печени и мышцах подопытных рыб. Во-вторых, высокий уровень активности метаболизма, который сохраняется у подопытных рыб, и высокие энергозатраты изменяют пищевое поведение рыб, они продолжают активно питаться, линейный рост преобладает над весовым, в результате чего коэффициенты упитанности карпа недостаточны.

### Выводы

Таким образом, проведенные исследования подтверждают наши предположения, что в ответ на действие соединений аллохтонного азота и в зависимости от температурных условий среды рыбы продуцируют два разных способа приспособления их обмена веществ в ответ на действие токсиканта. В частности, на уровне изменений физиолого-биохимических показателей происходит активация метаболических процессов в вегетационный период и их максимальное угнетение при действии низких температур в зимний период.

### Литература

- Аверьянов О.В., Дудник Л.В., Пушкар В.Я., 2000. Перекисное окисление липидов у карпа и белого толстолобика с различными темпами роста // Экологическая физиология и биохимия рыб. Тез. докладов IX Всерос. конф. Ярославль, май 2000 г. Т. 1. Ярославль. С. 3–4.
- Барабой В.А., Орел В.Э., Карнаух И.М., 1991. Перекисное окисление и радиация / Киев: Наукова думка. 256 с.
- Грубинко В.В., Леус Ю.В., Арсан О.М., 1996. Перекисное окисление липидов в тканях карпа при действии аммиака // Гидробиол. журнал. Т. 32. № 4. С. 52–57.
- Козлов Ю.П., Данилов В.С., Каган В.Е. и др., 1972. Свободнорадикальное окисление липидов в биологических мембранах / М.: Изд-во моск. ун-та. 88 с.
- Паранич А.В., Чайкина Л.А., Жарков С.В., 1990. Радиационно-индуцированное перекисное окисление липидов, рыбная диета и модуляция эффектов витамином Е // Радиобиология. Т. 30. Вып. 6. С. 808–813.
- Потрохов А.С., Волкова Е.Н., Беляев В.В., Зиньковский О.Г., 2003. Влияние перорального введения <sup>137</sup>Cs на росте и физиолого-биохимические показатели двухлеток карпа // Збірник наукових праць Інституту ядерних досліджень. № 2 (10). С. 109–116.
- Романова Л.А., Стальная И.Д., 1977. Метод определения гидроперекисей липидов с помощью тиоцианата аммония // Современные методы в биохимии. М.: Медицина. С. 65–66.
- Стальная И.Д., 1977. Метод определения диеновой конъюгации ненасыщенных высших жирных кислот // Современные методы в биохимии. М.: Медицина. С. 63–64.
- Стальная И.Д., Гаришвили Т.Г., 1977. Метод определения малонового диальдегида с помощью тиобарбитуровой кислоты // Современные методы в биохимии. М.: Медицина. С. 66–68.
- Winston G.W., Di Giulio R.T., 1991. Prooxidant and antioxidant mechanism in aquatic organisms // Aquatic Toxicol. Vol. 19. P. 137–161.



## ACTIVITY OF PROCESSES OF PEROXIDE OXIDATION OF LIPIDS AT CARP UNDER ACT OF MINERAL NITROGEN

A.S. Potrokhov, O.G. Zinkovskiy, N.A. Mogylevych

Institute of hydrobiology of NAofSci of Ukraine, Kiev

e-mail: alport@bigmir.net

It determined that in the term of active growth at sufficient nutrition metabolism of fishes increased. Accordingly in May are marked the greatest amount of malonic dialdehyde and diene conjugates in muscles and a liver of experimental and control fishes.

With decreasing temperature of water in the autumn on a background of the general decrease of the content of products the POL in organs and tissues of all fishes, under action allochthonous nitrogen their higher values are observed (in 2–3 time in comparison with the control). It is exhibiting of several processes connected among themselves which are caused by entering of compounds of nitrogen in water reservoirs. First, with decrease temperature of water action mineral nitrogen on a carp is intensified that results in unbalance and equilibrium between activity antioxidasing system and process of peroxide oxidation of lipids. Second, a high level of activity of metabolism which is preserved at experimental fishes, and high power inputs are changed a feeding behavior of fishes. They continue to eat actively, the linear growth prevails above weight growth therefore the fatness of a carp is insufficient.

## ЛИПИДНЫЙ СОСТАВ ТКАНЕЙ АТЛАНТИЧЕСКОГО ЛОСОСЯ *SALMO SALAR* L. КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Л.А. Похольченко

Мурманский государственный технический университет, г. Мурманск, Россия

e-mail: ludapoh@yandex.ru

Из всех групп веществ, входящих в состав животных организмов, липиды наиболее быстро реагируют на изменения многих экологических факторов. В течение первых лет жизненного цикла липидный обмен существенно меняется, обеспечивая адаптацию рыб к изменениям окружающей среды. К настоящему времени изучению липидов рыб посвящено много работ, но закономерности и амплитуда изменчивости их состава на ранних этапах развития под влиянием внешних факторов изучены недостаточно.

Анализируются сведения по липидному составу тканей речной молоди атлантического лосося разного возраста из рек Западная Лица, Печа и Пак Кольского полуострова.

### Материал и методика

#### Отбор биологических проб и их фиксация

Для исследования липидного состава брали мышечную ткань и печень молоди атлантического лосося *Salmo salar* L. Сбор материала осуществляли в августе 2008 г. на реках Печа, Пак (притоки реки Тулома) и Западная Лица Кольского полуострова. Пробы мышц и печени массой 1,0 и 0,5 г, соответственно, фиксировали в 5 мл бинарного растворителя с ионолом и хранили при температуре -18 °С без доступа воздуха и света до начала анализа не более 1 месяца. Общее количество исследуемых биологических проб лосося составило 56 штук.

#### Методика фракционирования липидов

Липиды из тканей экстрагировали по методу Блайя-Дайера (Кейтс, 1975). Фракционный состав липидов определяли методом одномерной ТСХ. Для анализа использовали пластинки с силикагелем на алюминиевой подложке фирмы «Merck» (Германия). Соотношение отдельных классов общих липидов изучали в системе н-гексан-серный эфир-ледяная уксусная кислота (90:20:1 (v/v/v)); фосфолипидов – хлороформ-метанол-вода (65:25:4 (v/v/v)). Идентификацию фракций липидов проводили при длине волны 540 нм на приборе CS-9000 фирмы «Shimadzu» (Япония) с помощью стандартов фирмы «Sigma» и «ISN» (США) (Кейтс, 1975). Статистическую обработку полученных результатов проводили стандартными биометрическими методами с помощью стандартного пакета прикладных программ Microsoft Excel и специальных программ (Лакин Г.Ф., 1990).

## Результаты и обсуждение

Исследований показали, что идентичные ткани молоди атлантического лосося незначительно отличаются друг от друга по общему содержанию липидов (табл. 1).

Таблица 1

### Содержание липидов в тканях разновозрастной молоди атлантического лосося

Название реки	Количество объектов	Содержание липидов, % от общего химического состава					
		0+*		1+		2+	
		мышечная ткань	печень	мышечная ткань	печень	мышечная ткань	печень
р. Печа	18	9,98±0,96	17,21±1,25	10,28±1,03	17,76±1,32	11,13±1,06	17,90±1,45
р. Пак	17	9,65±0,82	17,48±1,23	10,39±1,12	17,60±1,30	11,17±1,09	17,71±1,42
р. Зап. Лица	21	9,90±0,90	17,32±1,20	10,21±0,98	17,57±1,28	11,01±0,99	17,62±1,40

\* 0+ – сеголетки, 1+ – двухлетки, 2+ – трёхлетки молоди атлантического лосося

Выделены такие липидные фракции, как диацилглицерины, триацилглицерины, свободные жирные кислоты, фосфолипиды, стеринны и эфиры стериннов. Основную долю липидов составили триацилглицерины, фосфолипиды и стеринны (табл. 2).

Таблица 2

### Фракционирование липидов в тканях разновозрастного лосося из различных районов вылова

Наименование фракции	р. Печа				р. Зап. Лица					р. Пак				
	0+	1+		2+	0+	1+		2+		0+	1+		2+	
	мышцы	мышцы	печень	мышцы	мышцы	мышцы	печень	мышцы	печень	мышцы	мышцы	печень	мышцы	печень
Диацилглицерины	0,3	2,4	0,4	3,6	0,5	0,6	1,1	0,6	1,4	1,0	2,6	0,5	1,5	1,4
Триацилглицерины	9,0	10,0	32,0	28,4	12,0	18,0	40,0	33,8	52,0	23,6	28,9	63,0	33,0	19,0
Свобод. жирные к-ты	2,0	7,4	4,4	6,2	2,0	2,9	2,0	13,3	1,5	1,5	2,5	1,2	13,0	2,7
Стерины	19,0	20,0	16,0	18,4	14,0	17,0	9,7	1,4	12,7	15,6	13,4	7,4	15,0	15,0
Эфиры стериннов	4,6	2,6	4,1	1,8	1,5	2,0	4,5	6,0	3,2	3,7	1,9	1,6	2,5	1,7
ФОСФОЛИПИДЫ, в т.ч.:	65,0	57,0	43,0	41,4	70,0	59,0	43,0	44,8	29,0	54,5	50,7	26,0	35,0	61,0
Фосфатидилхолин (лецитин)	33,1	36,3	27,7	23,5	45,5	35,6	26,7	26,4	16,2	33,2	31,1	15,2	12,5	34,5
Фосфатидилэтаноламин (кефалин)	11,6	13,4	13,0	12,2	18,5	18,3	15,0	16,7	10,8	19,1	8,8	7,8	12,8	18,8
Другие ФЛ	20,2	7,3	2,3	5,7	6,0	5,1	1,0	1,7	2,0	2,3	10,8	2,9	9,7	7,2

Анализ липидного состава мышечной ткани и печени молоди атлантического лосося показал, что содержание фосфолипидов в них превалирует над содержанием триацилглицеринов. Тенденция, ведущая к преобладанию доли фосфолипидов над триацилглицеринами, прослеживается отчетливо в мышечной ткани и печени рыб, более эволюционно совершенных.

**1. Триацилглицерины.** Исследования показали, что с возрастом количество триацилглицеринов увеличивается как в мышечной ткани, так и в печени (с 9,0 до 33,8 % и с 18,0 до 63,0 % от общего содержания липидов, соответственно). Это связано с тем, что триацилглицерины – одна из универсальных запасных форм липидов, потребность в которых с возрастом повышается в связи со многими энергетическими затратами (Чечеткин, 1982).

**2. Фосфолипиды.** Общее содержание фосфолипидов в мышечной ткани молоди лосося из р.р. Западная Лица, Печа и Пак и печени молоди р.р. Печа и Западная Лица с возрастом уменьшается (с 70,0 до 35,0 % и с 43,0 до 29,0 % от общего содержания липидов, соответственно), а печени молоди реки Пак увеличивается (с 26,0 до 61,0 %). Диапазон изменчивости этого показателя существенно различается для каждой реки, что может быть связано с влиянием экологических факторов, например, с различиями в качественном составе кормовой базы. Основными компонентами фосфолипидов мышечной ткани молоди являются лецитин (до 36 % от общего количества липидов) и кефалин (до 19,1 %). Лецитин и кефалин – наиболее лабильные и быстро обменивающиеся фосфолипиды, способные выполнять, кроме запасной, и энергетическую функцию в клетке (Чечеткин, 1982), что косвенно свидетельствует о высокой двигательной активности и жизнеспособности дикой молоди лосося в речной период жизни.

**3. Стерины.** Установлено, что с возрастом в мышечной ткани количество стерина (в частности, холестерина) уменьшается (с 20,0 до 15,0 % от общего содержания липидов), а в печени увеличивается (с 7,4 до 15,0 %). Холестерин необходим для построения клеточных мембран и для синтеза веществ стероидной природы и желчных кислот, он является запасным липидом и накапливается в печени (Чечеткин, 1982).

Таким образом, установлены различия во фракционном составе липидов тканей исследованных рыб. Триацилглицерины наиболее быстро количественно реагируют на экологические факторы. Фосфолипиды накапливаются с возрастом.

### Литература

- Анисимов, А.А., Леонтьева, И.Ф. Основы биохимии : учебник для студ. биол. спец. ун-тов. – М. : Высш. шк., 1986. – 551 с.
- Добрынина, В.И. Учебник биологической химии. – М. : Гос. из-во мед. лит-ры, 1963. – 448 с.
- Кейтс, М. Техника липидологии. Выделение, анализ и идентификация липидов / пер. с англ. Вавера В.А.- М. : 1975. – 322 с.
- Кольман Я., Рём К.-Г., Наглядная биохимия, М. : Мир, 2000.
- Лакин, Г.Ф. Биометрия : Учеб. пособие для биол. спец. вузов – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1990. – 352 с. : ил.
- Ленинджер А. Основы биохимии, М. : Мир, том 1–3, 1985.
- Чечеткин, А.В., Головацкий, И.Д. Биохимия животных. – М. : Высш. шк., 1982. – 511 с.
- Elliott W.H., Elliott D.S., Biochemistry and molecular biology, Oxford University Press, Oxford, England, 1997.
- Stryer L., Biochemistry, (4<sup>th</sup> ed.), Freeman W.H., New York, NY, 1995.

## СОСТАВ И СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА МЕРОПЛАНКТОНА УСТЬЕВОЙ ЧАСТИ ГУБЫ ЧУПА (БЕЛОЕ МОРЕ)

**И.М. Примаков, О.Л. Саранцова, О.О. Ушакова**

Учреждение Российской академии наук Зоологический институт РАН  
г. Санкт-Петербург, Россия, e-mail: igor@IP5790.spb.edu

### Введение

На Беломорской Биологической станции Зоологического института начиная с 1961 года ведется систематическое круглогодичное исследование зоопланктона. Основное внимание в этом мониторинге уделяется голопланктону, в первую очередь ракообразным, по видовому составу и численности которых в разные сезоны получены исчерпывающие сведения (Прыгункова, 1974). Данные, касающиеся представителей других систематических групп беспозвоночных, к сожалению, неполны. Это в первую очередь касается видового состава присутствующих в планктоне личинок донных беспозвоночных – важного компонента зоопланктона. Пелагические личинки, сосредоточенные в неритической зоне, особенно в прибрежных водах, играют важную роль в продукционной цепи шельфа и в определенные сезоны составляют большую часть зоопланктона (Thorson, 1950; Милейковский, 1960; Корн, Куликова, 1997). Эти личинки, временно присутствующие в планктоне, обозначаются терминами «меропланктон» или «ларватон» по С.А. Милейковскому (1973), употребляемыми нами в качестве синонимов.

Регулярному исследованию меропланктона Белого моря и, в частности, Кандалакшского залива, посвящена обширная литература, начиная с классических работ С.А. Милейковского (1960, 1965). Рассматривая экологические исследования, ставшие регулярными в Кандалакшском заливе и в особенности в губе Чупа с 80-х годов XX века, представляется целесообразным выделить следующие основные направления. Это особенности планктонных личинок и их роль в качестве резерва пополнения молодью бентосных сообществ, причем наиболее детально рассматривались видовой состав, сезонная динамика, вертикальное распределение плотности личинок, динамика оседания, воздействие абиотических факторов (Ошурков и др., 1982; Шилин, 1989; Бурковский и др., 1998). Особенно детально изучалась пространственно-временная динамика самых многочисленных группировок личинок – личинок двухстворчатых моллюсков – на примере губы Чупа (Максимович, Шилин, 1991, 1997). На этом фоне остаются некоторые частные особенности, которые нам представлялось интересным выяснить. А именно: 1. как меняется видовой и количественный состав меропланктона в период биологического лета на протяжении ряда лет на близлежащих, но различающихся гидрологическим режимом участках; 2. есть ли связь между динамикой плотности меропланктона и колебаниями температуры и солености в течение года.

### Материал и методы

Настоящая работа является результатом трехгодичного исследования ларватона, проводимого в акватории, прилегающей к Беломорской биологической станции Зоологического Института РАН, мыс Картеш. Материал для описания видового состава и численности меропланктона собирали в летний период 2001–2003 гг. в бухте Кривозерская на траверзе острова Феттах – мыс Картеш (М-1) и бухте Круглая (М-2). Пробы отбирались в поверхностном слое воды 0–10 м еженедельно планктонной сетью с газом № 63 (размер ячеек 0.08 мм) и диаметром входного отверстия 55 см. Длина горизонтальной протяжки составляла 40 м. Живой материал разбирали в камере Богорова. Всего на станциях М-1 и М-2 за рассматриваемый период была собрана 61 проба.

Материал для анализа динамики численности меропланктона собирали на станции Д-1 круглогодично в течение 2001–2003 гг. В летний и осенний периоды пробы собирали ежедекадно, зимой пробы брали один раз в месяц со льда. Зоопланктон отбирали на горизонте 0–10 м замыкающей сетью Джели с газом № 63 и диаметром входного отверстия 36 см. Пробы фиксировали непосредственно после взятия нейтральным 40%-ным формалином с доведением конечной концентрации в пробе до 4%. На станции Д-1 было собрано 66 проб меропланктона.

Одновременно с отбором планктонных проб проводились измерения температуры и солености поверхностного слоя воды.

Видовое определение личиночного материала проводили с использованием имеющихся в литературе описаний личинок (Шилин, 1990; Чивилев и др., 1991), а также после дорастивания их до стадий, на которых проявлялись видовые признаки.

Наиболее детально состав личиночного планктона в летний период рассматривали в бухтах Кривозерская (М-1) и Круглая (М-2), где планктонные пробы отбирали одновременно и одинаковым образом.

Бухта Круглая с широким входом представляет собой фьстон береговой линии, она слегка вытянута в направлении с северо-запада на юго-восток. Береговой сток практически отсутствует. Водобмен в бухте осуществляется в основном в вертикальной плоскости, а приливно-отливные течения довольно сложные (Бабков, 1982). Бухту Круглую можно рассматривать как часть биоценоза губы Чупа с одной специфической особенностью – наличием экспериментальных субстратов, а также остатков частично затонувшего хозяйства по выращиванию мидии.

Бухта Кривозерская также вытянута в направлении СЗ-ЮВ. Вход в бухту закрывает остров Феттах, образуя два пролива. Точка взятия проб расположена между о. Феттах и мысом Картеш в более узком и мелководном проливе. Водобмен в проливе более интенсивный, чем в бухте Круглая и происходит в основном в горизонтальной плоскости (Бабков, 1982). Расположенное в проливе экспериментальное хозяйство по выращиванию мидий просуществовало 5 лет и было частично убрано, а частично затонуло. Посередине пролива имеется мидиевая банка, на которой находятся моллюски в угнетенном состоянии и в изобилии – морские звезды *Asterias rubens*. В целом, этот пролив является достаточно специфическим биотопом, пригодным в качестве местообитания далеко не всем видам беспозвоночных.

## Результаты

Анализируя данные за три летних сезона наблюдений, можно отметить, что плотность личинок полихет во все годы была сходной, в 2001 г. – выше в бухте Круглой. Видовой состав несколько различался. Часть видов во все три сезона присутствовала в обеих бухтах, это *Myriochele oculata*, *Phyllodoce* sp. и наиболее массовый вид *Capitella capitata*, достигающий плотности 250 экз./м<sup>3</sup>. Ряд видов был отмечен лишь в 2001 году, из них: в обеих бухтах *Eulalia viridis*, в Кривозерской – *Nephtys* sp., в Круглой – *Eteone longa* (до 420 экз./м<sup>3</sup>). Там же в 2001–2002 гг. был отмечен и *Heteromastus filiformis*.

Видовой состав личинок Gastropoda и их плотность в обеих бухтах, по нашим наблюдениям, были сходными. В обеих точках наблюдения устойчивый и массовый нерест из года в год демонстрирует *Littorina littorea*. Личиночный пул гастропод, наряду с литториной, представлен личинками *Epheria vineta* (максимальные количества в 2001 г. – свыше 300 экз./м<sup>3</sup> в бухте Круглой), а также *Cylichna* sp. и *Diaphana hyalina* (единичными в 2001 г. и массовыми в 2002–2003 гг.).

Видовой состав личинок двустворчатых моллюсков на станциях М-1 и М-2 одинаковый, но их плотность варьирует по годам и по бухтам – в Круглой она выше. Так, в 2001 г. максимальная плотность личинок таких массовых видов, как *Macoma balthica* и *Mya arenaria* достигала в Круглой бухте 500 экз./м<sup>3</sup>, не превышая в проточной Кривозерской бухте 35 экз./м<sup>3</sup>. Устойчивый массовый личиночный пул за все годы наблюдений давала *Mytilus edulis*. Массовый нерест *Serripes* sp. мы отмечали только в 2002 г., единичные личинки этого вида присутствовали в планктонных сборах 2001 и 2003 гг.

Во все годы в планктоне присутствовали личинки *Asterias rubens* (пик численности – в июле, во время нереста морских звезд), причем в бухте Круглой их плотность (до 230 экз./м<sup>3</sup>) более чем вдвое превышала плотность в бухте Кривозерской. Во все три сезона наблюдений в обеих бухтах регулярно встречались цифонауты *Electra pilosa*, а в 2002 г. были отмечены личинки губки *Halichondria* sp. (250–280 экз./м<sup>3</sup>). В обеих точках взятия проб обычны планулы *Aurelia aurita*.

В целом видовой состав личинок донных беспозвоночных, отмеченный нами в течение трех лет в устьевой части губы Чупа, от года к году менялся незначительно. В бухте Круглой с ее менее интенсивным водообменом плотность личинок двустворчатых моллюсков и в один из сезонов – полихет, была ниже, чем в более проточной Кривозерской бухте.

Сезонная динамика плотности меропланктона может быть рассмотрена на фоне изменения гидрологических условий (прежде всего температуры) в течение года. Заметно, что пики количественного развития меропланктона почти совпадают с пиками температуры. Максимальные значения плотности планктонных личинок были отмечены в наиболее теплом 2003 году (поверхностная температура воды достигала 20°C). В 2001 году июньский пик плотности ларватона сформировался за счет массового развития личинок тех же видов, которые отмечены и в другие годы наблюдений в более поздние сроки (июль). В этом году раньше и обильнее, чем в последующие годы, отнерестились следующие виды: *Mytilus edulis*, *Macoma balthica*, *Mya arenaria* (Bivalvia); *Capitella capitata*, *Eteone longa*, *Heteromastus filiformis* (Polychaeta); *Littorina littorea*, *Epheria vineta* (Gastropoda).

Численность меропланктона губы Чупа, как и всего Белого моря, определяется прежде всего массовым нерестом основных групп донных беспозвоночных. Первыми в планктоне появляются личинки ранненерестящихся видов полихет (*Harmathoe imbricata*), некоторых видов спионид (Ушакова, Саранцова, 2003) и науплиусы Cirripedia. Появление науплиусов усконогих раков Р.В. Прыгункова (1974) выделяет в качестве первого признака наступления биологической весны. Наибольшим видовым разнообразием и наиболее массово представлены Polychaeta, Bivalvia и Gastropoda, в меньшем количестве и единичными видами – Echinodermata и Bryozoa.

## Обсуждение результатов

В Белом море, как и в других акваториях, меропланктон распределен главным образом в десятиметровом поверхностном слое воды (Thorson, 1950; Милейковский, 1960; Корн, Куликова, 1997). Динамика численности и время появления в планктоне личинок определяется динамикой нереста доминирующих групп и видов бентоса. В условиях губы Чупа триггером массового нереста донных беспозвоночных является величина и характер изменения температуры воды (Максимович, Шилин, 1991). По данным З.С. Кауфмана (1976), наибольшее количество размножающихся животных на литорали и верхней сублиторали приходится на гидрологическое лето (июль – начало августа). Высо-

кая степень зависимости бореальных видов от температуры в значительной степени обусловлена именно наличием в их жизненном цикле свободноплавающей личинки. В условиях Белого моря периоды прогрева воды и обилия пищи, необходимой для планктотрофных личинок, достаточно коротки и к этому времени приурочивается нерест многих животных. Время встречаемости разных видов в планктоне определяется температурными особенностями каждого конкретного года (Бурковский и др., 1998; Максимович, Шилин, 1991). Однако общая последовательность появления личинок разных групп беспозвоночных в планктоне повторяется из года в год.

Известно, что значительное отклонение гидрологических показателей от нормы, например, аномально низкая температура и сильное опреснение оказывают негативное влияние на размножение литоральных и сублиторальных видов, вплоть до блокирования нереста и, таким образом, сильно обедняют состав и уменьшают плотность меропланктона (Перцова, Сахарова, 1967). В наших исследованиях колебания солености соответствовали усредненной динамике этого параметра, полученной на основании многолетних гидрологических наблюдений (Бабков, 1982). Изучение температурного режима показало, что пики плотности меропланктона наблюдаются при максимальных значениях температуры воды (обычные сроки нереста массовых бореальных видов приходятся на середину июля). Ранний прогрев воды, отмеченный нами в июне 2001 года, вызвал сдвиг нереста этих же видов на более раннее время и стимулировал массовый выход в планктон личинок донных беспозвоночных.

Общие группы, доминирующие в меропланктоне Белого моря – полихеты, брюхоногие и двусторчатые моллюски (Масленников и др., 1994). По данным Н.В. Максимовича и М.Б. Шилина (1991), 90 % общей численности ларватона моллюсков в губе Чупа составляют *Mytilus edulis*, *Hiatella arctica*, *Anomia squamata*, *Littorina littorea*, *Ephera vineta*. В наших планктонных сборах в массе присутствуют также *Macoma baltica*, *Mya arenaria*, *Cylichna* sp. и *Diaphana hyalina* что, вероятно, обусловлено наличием локальных поселений этих видов на изучаемой акватории. Невысокая плотность личинок (до 2000 экз./м<sup>3</sup> в максимуме), по-видимому, объясняется приуроченностью точек взятия проб к устьевой части губы Чупа. Так, по данным М.Б. Шилина (1991), наблюдается уменьшение средней за сезон общей плотности личинок моллюсков с 4–5.5 тысяч до 1–2 тысяч экз./м<sup>3</sup> по направлению от кутовой части губы Чупа к ее устью.

Личинки полихет первыми появляются в планктоне (Кауфман, 1976). В наших исследованиях мы захватываем период, когда плотность личинок полихет уже значительно сокращается, хотя они присутствуют в планктоне во время всего гидрологического лета. С.М. Чивилев с соавторами (1991), проводившие изучение личинок полихет по всей акватории губы Чупа, отмечают крайне неравномерное их распределение по акватории губы. Вероятно, это обусловлено тем, что распределение личинок в целом тесно связано с распределением родительских особей (Thorson, 1946; Милейковский, 1960). Большинство видов, дающих массовый личиночный пул в районе наших исследований, относится к видам-обрастателям (*Mytilus edulis*, *Hiatella arctica*, *Halichondria* sp., *Electra pilosa* и др.) или видам, сопутствующим *M. edulis* в биоценозах обрастания искусственных субстратов (*Anomia squamata*, *Ephera vineta*, *Eulalia viridis*, *Capitella capitata*, *Aurelia aurita*, *Asterias rubens*) (Ошурков и др., 1982). Это объясняется наличием в бухтах Круглая и Кривозерская остатков экспериментальных мидиевых хозяйств и искусственных субстратов.

Отмеченные нами на протяжении трех лет наблюдений особенности, присущие ларвату устьевой части губы Чупа, подтвердили ведущее влияние температуры на сроки и массовость нереста литоральных и сублиторальных видов. На видовой состав личинок влияет близость расположения поселений взрослых организмов. При этом последовательность появления личинок разных групп беспозвоночных из года в год остается неизменной.

### Литература

- Бабков А.И. Краткая гидрологическая характеристика губы Чупа Белого моря // Исследования фауны морей. 1982. Т. 27. С. 3–17.
- Бурковский И.В., Столяров А.П., Удалов А.А. Личинки как фактор формирования сообщества илисто-песчаной литорали Белого моря // Зоологический журнал. 1998. Т. 77. №11. С. 1229–1241.
- Кауфман З.С. Экологические закономерности нереста массовых видов беломорских беспозвоночных // Зоологический журнал. 1976. Т. 55. Вып. 1. С. 5–17.
- Корн О.М., Куликова В.А. Исследования личиночного планктона в Российских водах Японского моря // Биология моря. 1997. Т. 23. № 1. С. 3–14.

- Максимович Н.В., Шилин М.Б. Распределение ларватона моллюсков в губе Чупа (Белое море) // Тр. Зоол. ин-та. 1991. Вып. 233: «Бентос Белого моря. Популяции, биоценозы, фауна». С. 44–57.
- Максимович Н.В., Шилин М.Б. Структура ларвацены *Bivalvia* в губе Чупа (Белое море) // «Экологические исследования беломорских организмов». 1997. С.-Пб, из-во ЗИН РАН. С. 52–54.
- Масленников С.И., Корн О.М., Кашин И.А., Мартыненко Ю.Н. Многолетние изменения численности личинок донных беспозвоночных в бухте Алексеева острова Попова Японского моря // Биология моря. 1994. Т. 20. № 2. С. 107–148.
- Милейковский С.А. Влияние периодичности размножения литоральных и верхнесублиторальных беспозвоночных с пелагическим развитием на состав и биологию неритических планктонных биоценозов в Белом море и других морях // Докл. АН СССР. 1960. Т. 134. № 4. С. 980–983.
- Милейковский С.А. «Пелагический ларватон» и его биологическая роль в жизни моря // Океанология. 1973. Т. 13. Вып. 2. С. 346–347.
- Ошурков В.В., Шилин М.Б., Оксов И.В., Смирнов Б.Р. Сезонная динамика меропланктона в губе Чупа (Белое море) // Биология моря. 1982. № 1. С. 1–10.
- Перцова Н.М., Сахарова М.И. Зоопланктон пролива Великая Салма (Белое море) в связи с особенностями гидрологического режима в 1966 г. // Океанология. 1967. Т. 7. Вып. 6. С. 1068–1075.
- Прыгункова Р.В. Некоторые особенности сезонного развития зоопланктона губы Чупа Белого моря // Исслед. фауны морей. Л. 1974. Т. 13 (21). С. 4–55.
- Ушакова О.О., Саранчова О.Л. Устойчивость к воздействию пониженной солености планктонных личинок массовых видов беспозвоночных Белого моря // Зоологический журнал. 2003. Т. 82. № 3. С. 318–324.
- Чивилев С.М., Шилин М.Б., Лебский В.К. Пелагические личинки полихет губы Чупа Белого моря // Бентос Белого моря (Популяции, биоценозы, фауна). 1991. Тр. ЗИН АН СССР. Т. 233. С. 58–78.
- Шилин М.Б. Личинки массовых видов донных беспозвоночных в планктоне губы Чупа Белого моря // Морской планктон (систематика, экология, распределение). Исслед. фауны морей. 1989. Т. 41 (49). С. 132–139.
- Шилин М.Б. Полевой определитель планктона. 1990. Приложение к автореф. дис... канд. биол. наук.
- Шилин М.Б. Сезонная динамика, распределение и продукционные характеристики меропланктона губы Чупа (Белое море). Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Л.: ЗИН АН СССР. 1991. 21 с.
- Thorson G. Reproduction and larval development of Danish Marine bottom invertebrates, with special reference to the planktonic larvae in the Sound (Oresund). Medd. Dan. Komm. havunders. Og. Fisk. Ser. Plankton. 1946. Vol. 4. № 1. 529 p.
- Thorson G. Reproductive and larval ecology of marine bottom invertebrates // Biol. Rev. 1950. Vol. 25. № 1. P. 1–45.

## STRUCTURE AND SEASONAL DYNAMICS OF MEROPLANKTON IN THE MOUTH PART OF CHUPA BAY (THE WHITE SEA)

I.M. Primakov, O.L. Saranchova, O.O. Ushakova  
Zoological Institute of RAS, St.-Petersburg, Russia  
e-mail: igor@IP5790.spb.edu

Abundance and species composition of summer larvaton in the mouth part of Chupa Bay were investigated. The significant correlation between water temperature and larval density was shown. The highest larval abundance was recorded in the middle of June 2001 and May 2003 as a result of early and strong increase of water temperature. Larvae of bottom invertebrates – Polychaeta, Gastropoda, Bivalvia, Echinodermata and Bryozoa – were the main group of larvaton. Using Krivozerskaya and Kruglaya Bays as model water areas it was shown that the larvaton composition is determined by artificial and natural populations of adult organisms.

## ДИНАМИКА ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ И ДЫХАНИЯ У ЦЕРКАРИЙ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ БЕЛОМОРСКИХ ТРЕМАТОД

В.В. Прокофьев  
Псковский государственный педагогический университет, г. Псков, Россия  
e-mail: prok58@mai.ru

В жизненном цикле большинства видов трематод имеется свободноживущая фаза, представленная личинкой мариты – церкарией. На этой фазе решаются две основные биологические задачи

– это дисперсия инвазионных единиц в пространстве и передача паразита следующему хозяину. Для успешного выполнения указанных задач большинство свободноживущих церкарий способны активно плавать в толще воды, благодаря наличию особого локомоторного органа – хвоста. Во внешней среде личинки не питаются и живут исключительно за счет накопленных во время развития в моллюске-хозяине запасов гликогена и жира, расположенных преимущественно в хвосте (Гинецинская, 1960; Гинецинская, Добровольский, 1963; Гинецинская и др., 1981). Поэтому особенности работы хвоста и его размерные характеристики в значительной мере определяют сроки жизни церкарий, а значит и их способность к заражению следующего хозяина (Галактионов, Добровольский, 1998; Прокофьев, 1999, 2001 и др.).

Вместе с тем, церкарии, будучи личинками марит, во время пребывания во внешней среде не растут, у них не функционируют пищеварительная и репродуктивная системы и, в большинстве случаев, отсутствует секреторная активность в клетках железистого аппарата. Поэтому, метаболизм у свободноживущих церкарий определяется, в основном, энергетическим обменом, связанным с работой мускулатуры хвоста. Косвенным выражением такого обмена служит дыхательная активность личинки.

Ранее нами были проведены исследования по определению возрастной динамики двигательной (Прокофьев, 2005) и дыхательной (Прокофьев и др., 2001; Прокофьев, 2008) активности беломорских свободноплавающих церкарий *Himasthla elongata* (сем. Echinostomatidae), *Cryptocotyle lingua* (сем. Heterophyidae), *Cercaria parvicaudata* (сем. Renicolidae) и *Maritrema subdolum* (сем. Microphallidae).

В настоящей работе предпринята попытка оценить связь локомоторной и респираторной активности этих личинок в процессе их жизни. Для большей наглядности и облегчения сравнения мы объединили результаты наблюдений за скоростью плавания и дыхания для каждого вида изученных личинок (см. рис. А-Г).

Прежде чем приступить к анализу связи двигательной и дыхательной активности церкарий необходимо сделать небольшое замечание. Известно, что скорость потребления кислорода организмами, в том числе и водными, является функцией их массы, а, соответственно, и размеров (объема) тела (Hemmingsen, 1960; Алимов, 1989, 2000, и др). Из исследованных нами видов наиболее крупные эхиностоматидные личинки в первые часы жизни демонстрируют максимальную, а самые мелкие микрофаллидные – минимальную интенсивность дыхания (см. рис. А-Г) (см. табл.).

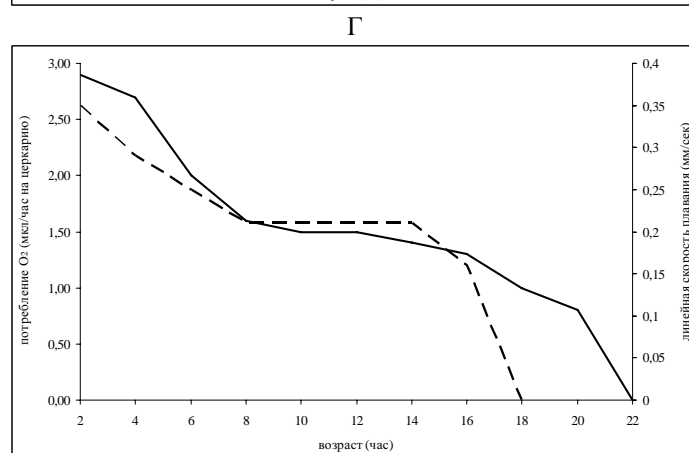
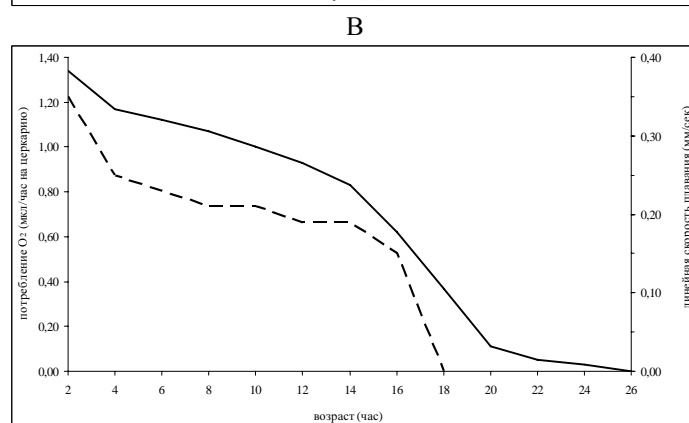
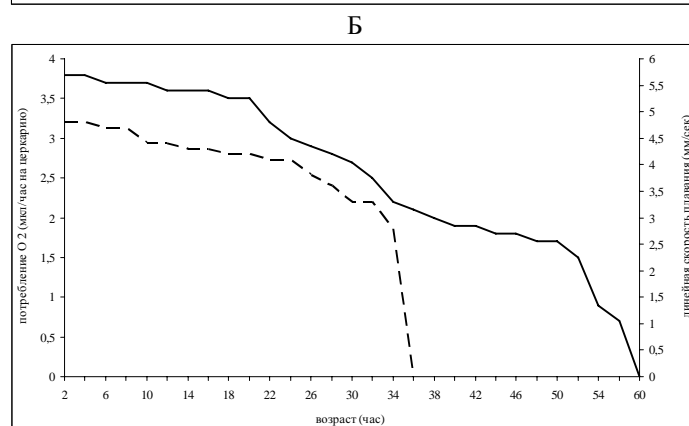
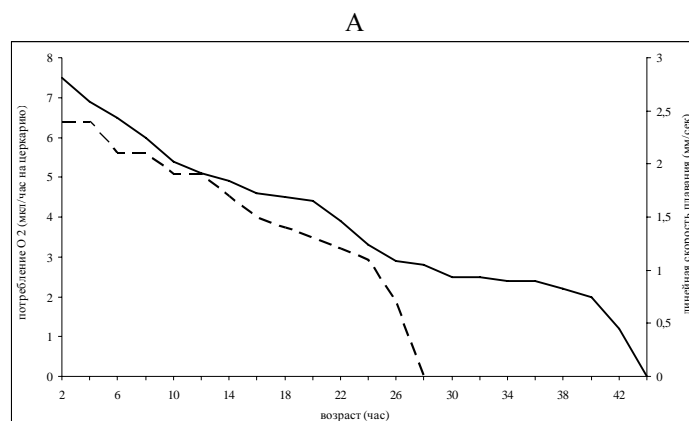
**Объемные характеристики исследованных церкарий**

Вид церкарий	Объем тела $\times 10^{-3} \text{ см}^3$	Объем хвоста $\times 10^{-3} \text{ см}^3$	Общий объем $\times 10^{-3} \text{ см}^3$
1	2	3	4
<i>Himasthla elongata</i>	11,05	1,06	12,11
<i>Cryptocotyle lingua</i>	1,0	0,32	1,32
<i>Maritrema subdolum</i>	0,28	0,02	0,3
<i>Cercaria parvicaudata</i>	1,96	0,06	2,02

Вместе с тем, ранее нами было показано, что для церкарий трематод прямая зависимость респираторной активности от размеров личинок проявляется лишь в первом приближении (Прокофьев и др., 2001; Прокофьев, 2008). В частности, для свободно плавающих церкарий, интенсивность дыхания связана, в первую очередь, с размерами их локомоторного органа, а не тела. Подобное утверждение тем более очевидно, если учесть, что основные запасы гликогена, за счет окисления которого обеспечивается энергетика обмена личинок, сосредоточены в хвосте церкарии.

Сопоставление рисунков А-Б позволило отметить четкое совпадение динамики скоростей плавания и потребления кислорода для всех исследованных видов. Такое совпадение служит хорошей иллюстрацией связи интенсивности дыхания церкарий с их двигательной активностью. По мере снижения скорости плавания, снижается и дыхательная активность личинок. Несомненно, что это связано с особенностями работы мышечного аппарата локомоторного органа церкарий. Чем выше скорость плавания, тем активнее должна работать мускулатура хвоста. Соответственно, необходим более высокий уровень энергетического обмена, а значит и повышенная респираторная активность. Именно этим, на наш взгляд, объясняется прямая зависимость дыхания церкарий от их подвижности.





Динамика двигательной активности и дыхания церкарий:  
 А – *Himasthla elongata*; Б – *Cryptocotyle lingua*; В – *Maritrema subdolum*; Г – *Cercaria parvicaudata*.  
 — — дыхание; - - - - движение

Сравнение графиков дыхания и плавания изученных церкарий позволило отметить интересную особенность – с прекращением плавания, скорость потребления  $O_2$  снижается в 2–3 раза, но еще довольно длительное время остается на весьма высоком уровне. Особенно четко это заметно для эхиностоматидных (27–39 ч, рис. А), гетерофийдных (35–52 ч, рис. Б) и рениколидных (18–20 ч, рис. Г) церкарий. Резкое падение интенсивности дыхания происходит лишь в последние 2–4 часа наблюдений, незадолго до гибели личинок. Сохранение довольно высокого уровня дыхания после прекращения плавания, на наш взгляд, вполне объяснимо, поскольку после прекращения плавания и оседания личинок на дно, работа их локомоторного органа еще определенное время (от 4 до 20 ч, в зависимости от вида) продолжается. Однако, амплитуда и частота колебаний последнего настолько малы, что церкарии уже не способны плавать. Это требует определенных затрат энергии и соответствующего уровня потребления кислорода, необходимого для окисления гликогена. Постепенно движения хвоста ослабевают и наступает его полная иммобилизация. Но даже после полного обездвиживания личинки погибают не сразу, а еще некоторое время (1–5 ч) остаются живыми.

Церкарии, во время жизни во внешней среде, являются аэробными животными (Smyth, Halton, 1983; и др.). Поэтому интенсивность дыхания личинок может служить косвенным показателем общего уровня их обменных процессов. В свою очередь, общий уровень можно представить в виде двух частей – основного обмена, связанного с функционированием всех органов и систем (кроме локомоторной), и метаболизма, связанного с двигательной активностью. А поскольку локомоторная активность исследованных личинок в последние часы жизни (2–4 ч) равна нулю, то, по-видимому, величина интенсивности дыхания в этот период характеризует уровень основного обмена животных. В таком случае, на основании сравнительного анализа двигательной и респираторной активности изученных нами церкарий, можно сделать вывод о том, что основная часть их энергетического обмена связана с обеспечением локомоторной функции. Если выразить через скорость потребления  $O_2$  долю основного обмена по отношению к общему (в процентах), то окажется, что она составляет от, примерно, 25% (*H. elongata*, *C. lingua* и *Cercaria parvicaudata*) до 10% (*M. subdolum*,) (рис. А–Г).

Иными словами, на долю двигательного метаболизма приходится от 3/4 до 9/10 общего уровня энергетического обмена. В действительности, эти цифры, по-видимому, могут быть несколько ниже, поскольку основной обмен в первые часы жизни церкарий, наверняка, выше, чем в последние. Однако, несомненно, что все же основная часть энергетического обмена связана с обеспечением именно локомоторной активности. Приходится только сожалеть, что до сих пор в литературе практически нет никаких сведений об энергетике обменных процессов у церкарий трематод. Поэтому, пока приходится оперировать лишь предположениями, либо сведениями, полученными на основании косвенных наблюдений.

Особый интерес представляет сопоставление двигательной и дыхательной активности у личинок *C. lingua*. Гетерофийдные церкарии, в отличие от остальных исследованных личинок, обладают дискретным типом плавания, при котором процесс движения можно разбить на два чередующихся периода, активный и пассивный. В ходе первого церкария активно работает хвостом, что обеспечивает ее поступательное движение. Во время второго она замирает и в таком состоянии парит в воде, медленно опускаясь вниз. Затем весь процесс повторяется. При этом с возрастом длительность пассивного периода увеличивается, а активного, наоборот, падает. Поэтому большую часть жизни во внешней среде церкарии *C. lingua* пребывают в неподвижном состоянии (Прокофьев, 2005). В связи с этим можно было бы ожидать, что интенсивность их дыхания будет ниже, чем у соизмеримых с ними, непрерывно плавающих *Cercaria parvicaudata*. Однако это не так (рис. Б, Г). Скорость потребления кислорода личинками гетерофийд оказывается выше, чем *Cercaria parvicaudata*. Указанное противоречие, на наш взгляд, объясняется следующими обстоятельствами. Во-первых, скорость плавания церкарий *C. lingua* в течение первых 20–22 ч остается практически неизменной, тогда как у *Cercaria parvicaudata* она снижается почти в 2 раза уже через 8 ч жизни во внешней среде.

Во-вторых, выше было отмечено выше, интенсивность дыхания церкарий напрямую связана с размерами их хвоста и поэтому основная часть энергетического обмена направлена на обеспечение функционирования именно этого органа. А поскольку объем хвоста личинок *C. lingua* оказывается в несколько раз больше, чем у *Cercaria parvicaudata* (см. табл.), то и респираторная активность гетерофийд превышает этот показатель у рениколид.

В-третьих, по-видимому, и в целом метаболическая активность гетерофийд выше, чем рениколид. Если сравнить скорость потребления кислорода в последние часы перед гибелью церкарий, когда они уже

практически неподвижны, то окажется, что несмотря на то, что общий объем личинок *Cercaria parvicaudata* выше, чем *C. lingua* (см. табл.), уровень основного обмена первых в несколько раз ниже, чем вторых (см. рис. Б, Г). В совокупности, все три обстоятельства и приводят к тому, что, несмотря на дискретный тип локомоции, интенсивность дыхания гетерофийд оказывается достаточно высокой.

Более того, скорость потребления кислорода церкариями *C. lingua* в конце жизни практически равна таковой для личинок *H. elongata* (см. рис. А, Б). Это указывает на то, что, по-видимому, относительный уровень основного обмена, с учетом значительных различий в размерах (см. табл.), у гетерофийд оказывается выше, чем не только у рениколид, но даже и у эхиностоматид.

Следует так же обратить внимание на интересное, по нашему мнению, обстоятельство, связанное с динамикой дыхания церкарий *C. lingua*. После прекращения плавания интенсивность респирации этих личинок, в отличие от остальных исследованных видов, длительное время фактически не изменяется и остается на весьма высоком уровне (менее чем в 2 раза ниже максимального) (рис. А-Г). Столь высокий уровень дыхания кажется тем более удивительным, если учесть, что даже, как отмечалось выше, в период активного плавания, когда колебания локомоторного органа чередуются с остановками, гетерофийды большую часть времени проводят в состоянии покоя, паря в толще воды. После прекращения плавания и оседания на дно состояние покоя становится доминирующим, поскольку хвост практически перестает работать, лишь изредка сокращаясь с небольшой частотой и амплитудой.

Представляется весьма показательным, что именно у церкарий с дискретным типом локомоции, после прекращения плавания, интенсивность дыхания оказывается выше ожидаемой. На наш взгляд, это связано с особенностями энергетики работы поперечно-полосатой мышечной ткани, которые упускаются из виду большинством исследователей. Известно, что энергия АТФ расходуется не только на сокращение, но и на расслабление мышечного волокна (Хэм, Кормак, 1983, и др.). Для того, чтобы произошло расслабление миофибрилл нужно разорвать связь между актином и миозином, а для этого следует снизить концентрацию ионов  $\text{Ca}^{2+}$  в саркоплазме мышечного волокна. Избыток ионов кальция «перекачивается» в полость цистерн саркоплазматического ретикулума при помощи особых кальциевых насосов. Работа этих насосов как раз и происходит с затратой энергии АТФ.

С учетом изложенных выше соображений, следует предположить, что суммарная энергия, необходимая для локомоции церкарий *C. lingua* складывается из двух частей: энергии необходимой для сокращения и для расслабления мускулатуры хвоста. Причем в период плавания личинок расходуются обе части, а при пассивном парении лишь вторая. В таком случае, можно считать, что, по крайней мере, в первые часы после оседания на дно и прекращения движения интенсивность дыхания церкарий соответствует уровню энергетического обмена (за вычетом основного обмена), необходимому для поддержания мускулатуры хвоста в расслабленном состоянии во время парения. Причем уровень этот, судя по скорости потребления  $\text{O}_2$ , оказывается довольно высоким (см. рис. Б).

Нет сомнений, что и у непрерывно плавающих церкарий энергия затрачивается не только на сокращение, но и на расслабление мускулатуры хвоста. Однако, поскольку локомоторный орган таких личинок работает практически непрерывно, заметить и каким-либо образом оценить эти затраты невозможно. Лишь наблюдение за возрастной динамикой локомоции и дыхания церкарий с дискретным типом плавания дает такую возможность.

Тот факт, что не только сокращение, но и расслабление мускулатуры хвоста требует немалых затрат энергии, заставляет более осторожно подходить к оценке связи локомоторной активности и длительности жизни церкарий трематод (Гинецинская, 1968; Галактионов, Добровольский, 1998; Прокофьев, 1995, 1999, 2001). В первую очередь это относится к видам, личинки которых обладают прерывистым плаванием. Безусловно, что сам по себе, дискретный тип локомоции, действительно позволяет церкариям более экономно утилизировать энергетические запасы в период парения, когда энергия расходуется лишь на поддержание расслабленного состояния мускулатуры. Однако эта экономия и ее вклад в пролонгирование сроков жизни церкарий, по-видимому, не столь велики, как можно было бы предполагать.

*Работа выполнена при содействии РФФИ N 07-04-01675 и ИНТАС N 05-1000008-8056.*

#### Литература

- Алимов А. Ф., 1989. Введение в продукционную гидробиологию / Л.: Гидрометеиздат. 152 с.  
Алимов А. Ф., 2000. Элементы теории функционирования водных экосистем / СПб.: Наука. 147 с.  
Галактионов К. В., Добровольский А. А., 1998. Происхождение и эволюция жизненных циклов трематод / С-Пб.: Наука. 404 с.

- Гинецинская Т. А., 1960. Гликоген в теле церкариев и зависимость его распределения от их биологии // Докл. АН СССР. Т. 135, Вып. 4. С. 1012–1015.
- Гинецинская Т. А., 1968. Трематоды, их жизненные циклы, биология и эволюция / Л.: Наука. 410 с.
- Гинецинская Т. А., Добровольский А. А., 1962. Гликоген и жир на разных фазах жизненного цикла сосальщиков. Ч. I. Морфология распределения гликогена и жира // Вестн. ЛГУ. № 9. С. 67–81.
- Гинецинская Т. А., Добровольский А. А., 1963. Гликоген и жир на разных фазах жизненного цикла сосальщиков. Ч. II. Биологическое значение гликогена и жира // Вестн. ЛГУ. № 3. С. 23–33.
- Гинецинская Т. А., Добровольский А. А., Оксов И. В., 1981. Работы по гельминтологии / М.: Наука. С. 82–87.
- Прокофьев В. В., 1995. Биология церкарий литоральных трематод Баренцева и Белого морей: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб.: СПбГУ. 161 с.
- Прокофьев В. В., 1999. Влияние температуры и солености воды на продолжительность жизни церкарий морских литоральных трематод *Cryptocotyle* sp. (Heterophyidae), *Levinseniella brachysoma* и *Maritrema subdolum* (Microphallidae) // Паразитология. Т. 33, Вып. 6. С. 520–526.
- Прокофьев В. В., 2001. ВЛИЯНИЕ температуры и солености воды на продолжительность жизни церкарий морских литоральных трематод *Podocotyle atomon* (Opencoealidae) и *Renicola thaidus* (Renicolidae) // Паразитология. Т. 35, Вып. 1. С. 69–76.
- Прокофьев В. В., 2005. Особенности плавания церкарий некоторых видов трематод // Паразитология. Т. 39, Вып. 3. С. 250–261.
- Прокофьев В. В., Бергер В. Я., Галактионов К. В., 2001. Интенсивность дыхания церкарий трех видов трематод из литоральных моллюсков *Littorina littorea* L. (Gastropoda) Белого моря // Паразитология. Т. 35, Вып. 3. С. 72–79.
- Хэм А., Кормак Д., 1983. Гистология. Т. 3 / Пер. с англ. М.: Мир. 296 с.
- Hemmingsen A. M., 1960. The relation of standard (basal) energy metabolism to total fresh weight of living organisms // Rep. Stenool. Memor. Hospital., Copenh. Vol. 4. P. 7–58.
- Smith J. D., Halton D. W., 1983. The physiology of trematodes / Cambridge Univer. Press., Cambridge at al. 446 p.

## **DYNAMICS OF MOVING ACTIVITY AND BREATH IN TRANSMISSIVE LARVAE (CERCARIAE) OF SOME TREMATODE SPECIES PARASITIC IN MARINE ANIMALS**

**V.V. Prokofiev**

Pskov State Pedagogical University, Pskov, Russia  
e-mail: prok@ellink.ru

The relationships between locomotion and respiration in free-swimming cercariae *Himasthla elongata* (Echinostomatidae), *Cryptocotyle lingua* (Heterophyidae), *Cercaria parvicaudata* (Renicolidae) and *Maritrema subdolum* (Microphallidae) was evaluated in experimental studies on moving and breath activity during the cercariae life span. It was shown a clean coincidence in dynamics of oxygen consumption and swimming rate in all cercariae studied: the swimming rate decreased the breath activity decreased as well. It was concluded that the main part (75–90%) of energetic metabolism (the rate of which was evaluated by dynamics of breath activity) is connected with providing of cercarial locomotion. It was shown that in cercariae with intermittent type of locomotion (*C. lingua*) the relative level of respiratory activity was higher then in continuously swimming larvae.

## **ДЛИННОЦЕПОЧЕЧНЫЕ ПОЛИЕНОВЫЕ КОМПОНЕНТЫ ПРИРОДНЫХ ЛИПИДОВ: КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СВОЙСТВ И ПРОГНОЗА ФУНКЦИЙ**

**А.Л. Рабинович, П.О. Рипатти**

Учреждение Российской академии наук Институт биологии  
Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск, Россия  
e-mail: rabinov@krc.karelia.ru

### **Введение**

В биомембранах сосуществуют многие десятки и даже сотни типов липидных молекул, они образуют ее основу; имеются также белки, углеводы, холестерин и другие молекулы, – разнообразие биомембран огромно. Липиды различаются по химическому строению головных групп и/или углеводородных це-

пей (остатков жирных кислот, ЖК). Несмотря на интенсивные исследования последних лет, следует признать, что имеющиеся на сегодня экспериментальные данные о свойствах биомембран остаются фрагментарными. Вместе с тем общепризнано, что ключевое значение для функционирования биомембран имеют ненасыщенные и особенно полиненасыщенные (ПН), т.е. полиеновые цепи липидов (см., напр., обзоры последних лет: Stillwell, Wassall, 2003; Valentine R., Valentine D., 2004; Stillwell, 2008). Все двойные связи C=C наиболее типичных ненасыщенных углеводородных цепей липидов биомембран являются метилен-прерывающимися, большинство цепей ЖК имеет длину  $N=12, \dots, 22$  углеродных атома и количество двойных связей  $k=1, 2, \dots, 6$ . Вместе с тем обнаружено, что в некоторых биомембранах, наряду с перечисленными выше, содержатся цепи «необычные», выделяющиеся по этим параметрам из общего ряда цепей (которые поэтому стали называть «обычными»). Например, давно идентифицированы цепи 30:4(n-6)cis и 30:5(n-3)cis в составе ЖК морских губок *Cliona celata* (Litchfield et.al., 1979); в других видах идентифицированы цепи с  $N=26, 28, 30$  и  $k=2, 3$  (Litchfield et.al., 1979). О наличии в различных видах губок необычных ЖК с разным количеством и расположением двойных связей, а также с четным и нечетным  $N$ , сообщалось неоднократно (Joseph, 1979; Rezanka, 1989; Djerassi, Lam, 1991; Rezanka, Sigler, 2009). Далее, оказалось, что в клетках морских микроводорослей динофлагеллят *Prorocentrum mexicanum*, *P. micans*, *Scrippsella sp.*, *Symbiodinium microadriaticum*, *Gymnodinium sp.*, *G. sanguineum*, *Fragilidium sp.* есть октакозагептаеновые 28:7(n-6)cis и октакозаоктаеновые 28:8(n-3)cis цепи ЖК (Mansour et. al., 1999), они составляют ~2% от общего количества ЖК в этих клетках. Наличие цепи 28:8(n-3)cis зафиксировано также у *Cryptocodinium cohnii* (Van Pelt et. al., 1999). Набор длинноцепочечных ацилов вплоть до 36:8(n-3)cis идентифицирован в клетках динофлагеллят *Amphidinium carterae* (Rezanka et.al., 2008; Rezanka et.al., 2008a); найдено также нескольких десятков типов цепей с нечетными  $N$ , хотя и в концентрациях, еще на порядок меньших (Rezanka et.al., 2008a); в ряде работ встречаются аналогичные данные и для других клеток (Rezanka, Sigler, 2009). Из тканей трех видов пресноводных ракообразных, *Bathynella natans*, *B. baicalensis*, *Baicalobathynella magna*, было выделено даже более 50 типов подобных необычных цепей, в том числе, например, 26:5(n-6) cis, 28:7(n-6) cis, 30:7(n-3) cis и 40:7(n-6) cis (Rezanka, 2000). В других водных организмах тоже обнаружены необычные цепи ацилов (Rezanka, Sigler, 2009). Следует отметить, что подобные необычные цепи идентифицированы в составе липидных молекул мембран многих организмов, а не только водных: это явление – общебиологическое.

Обнаружено, что необычно длинные цепи находятся в составе молекул фосфатидилхолинов (ФХ) тоже исключительно необычных типов. Их необычность в том, что длинные цепи локализованы в положении *sn-1* глицеринового основания (Avelaño, 1987; Avelaño, Sprecher, 1987; Robinson et.al., 1990), тогда как в молекулах ФХ «обычных» типов положение *sn-1*, как правило, занято насыщенным углеводородной цепью (например, 16:0, 18:0). При этом в положении *sn-2* молекул ФХ как обычных, так и необычных типов, расположены обычные насыщенные, мононенасыщенные или ПН цепи длиной  $N < 24$  (Robinson et.al., 1990). Необычные ПН цепи молекул ФХ сетчатки глаз позвоночных (в частности, изучались бык, кролик, крыса, цыпленок (Avelaño, 1987; Avelaño, Sprecher, 1987; Rotstein, Avelaño, 1988; Avelaño, 1988) входят в состав исключительно диполиненасыщенных молекул ФХ, т.е. их локализация *sn-1*, а в *sn-2* находится преимущественно цепь 22:6(n-3)cis. Экстракция гексаном мембран фоторецепторов показала, что во фракции липидов, связанных с родопсином, резко повышено содержание липидов с обычными и необычными ПН цепями (Avelaño, 1988).

Высказаны предположения (Avelaño, 1987; Avelaño, 1988) о том, что (i) длинноцепочечные ПНЖК молекул ФХ в сетчатке, возможно, необходимы, чтобы способствовать фоторецепторным белкам мембраны, – главным образом, родопсину, если, например, его альфа-спиральные сегменты частично окружены такими ФХ (Avelaño, 1988), принимать определенные функциональные конформации, и следовательно играют важную роль в осуществлении процесса зрения; (ii) возможно, соответствующий тип фосфолипидов в мозге требуется также для правильной ориентации характерных мембранных белков; (iii) альтернативная возможность состоит в том, что молекулы ФХ мозга, содержащие длинные ПН цепи и/или ПН продукты их распада (неэтерифицированные ЖК, лизофосфатидилхолин и диацилглицерин) могут быть метаболически активными соединениями, важными в регулировании клеточных процессов.

Подчеркнем, что предположения (Avelaño, 1987; Avelaño, 1988) о роли необычных ПН цепей сделаны без анализа свойств молекул. Обосновать или отвергнуть эти предположения, прояснить ситуацию можно было бы именно при сравнении между собой физических свойств достаточно широкого набора таких цепей. Однако такие данные для необычных ЖК цепей (встречающихся в малых количествах) в литературе чрезвычайно скудны вследствие трудностей по их выделению и

идентификации. В таких условиях становится целесообразным использовать для извлечения искомой информации «компьютерный эксперимент». В арсенале его методов наиболее распространены метод статистических испытаний (Монте-Карло, МК) и метод молекулярной динамики. В настоящей работе методом МК проведена имитация конформационного поведения одной из типичных совокупностей необычных ПНЖК цепей.

### Материалы и методы

Генерировали ансамбли конформаций различных неразветвленных цепных углеводородных олигомеров методом МК. Для этого использована «континуум-модель», детали которой были описаны ранее (Rabinovich, 1991). В рамках этой модели все углы внутреннего вращения вокруг простых связей основной цепи молекулы изменяли непрерывно в диапазоне от 0 до 360°. Величины валентных связей и валентных углов цепи при имитации были фиксированными. Цепи «конструировали» последовательно, по молекулярным фрагментам, содержащим по 5–7 углеродных атомов. Эти фрагменты избраны такими, чтобы они точно передавали детали химического строения цепей. Таким способом изучены свойства набора необычных ПН цепей, избранного в итоге анализа биохимических данных для многих объектов: N:4(n-6)cis, N:4(n-3)cis, N:5(n-6)cis, N:5(n-3)cis, N:6(n-6)cis, N:6(n-3)cis. Количеством атомов углерода было четным, N = 24, 26, 28, ..., 38. При расчете искомым средних характеристик выборки конформаций составляли 300000-1000000 для цепи каждого типа в невозмущенном (Флори, 1971) состоянии при температуре 25°C. В итоге вычислены средние расстояния  $\langle h_0 \rangle$  и квадраты расстояний  $\langle h_0^2 \rangle$  между концевыми атомами углерода каждой из молекул, характеристики равновесной гибкости  $\langle h_0^2 \rangle / L^2$ ,  $\langle h_0 \rangle / L$ , где L – контурная длина, вычисленная как сумма длин максимально вытянутых конформаций насыщенного и ненасыщенного участков данной цепи. Очевидно, что чем большей способностью к изгибу обладает цепь, тем меньше  $\langle h_0^2 \rangle / L^2$  или  $\langle h_0 \rangle / L$ .

### Результаты и обсуждение

Различия в строении цепей определяются тремя параметрами: N, k и j (где j – положение двойной связи от конечной группы CH<sub>3</sub>). Как оказалось, при сравнении данных для разных цепей на графиках использование величины j в качестве третьей характеристики не всегда удобно: иногда это приводит к наложению части кривых разных групп молекул друг на друга. Во избежание этого для указания расположения всех двойных связей в каждой цепи на графиках вместо j нами был введен специальный параметр X, – среднее арифметическое номеров тех атомов углерода, которые участвуют в образовании всех (k) двойных связей цепи, – это своего рода «центр» двойных связей. На рис.1 приведены расчетные значения отношений  $\langle h_0^2 \rangle / L^2$  для всех перечисленных выше цепей в зависимости от N, k и X. Для наглядности они представлены тремя группами с одинаковым (4, 5 или 6) количеством двойных связей: (а) N:4(n-6)cis, N:4(n-3)cis; (б) N:5(n-6)cis, N:5(n-3)cis; (в) N:6(n-6)cis, N:6(n-3)cis.

Из рис.1 видно, что при удлинении цепи (N) с сохранением количества двойных связей k и их местоположения X гибкость цепи увеличивается (т.е. уменьшается величина  $\langle h_0^2 \rangle / L^2$ ). Гибкость также растет, если количество двойных связей в цепи увеличивается от 4 до 6 при N = Const и при сохранении (или лишь небольшом изменении) X. Гибкость цепи увеличивается, если вся группа двойных связей смещается вдоль по цепи от концов к центру, при постоянных N и k. При детальном анализе данных по гибкости была выявлена специфическая, но общая закономерность: в пределах погрешностей расчета совпадают гибкости некоторых пар цепей с одинаковыми N во всем изученном диапазоне N, но при этом их комбинации значений k и X (или j) различаются. Все эти пары собраны в табл.1. В верхней половине таблицы – данные расчета  $\langle h_0 \rangle / L$  для всех (n-6)-пентаеновых цепей N:5(n-6)cis (слева) и всех (n-3)-гексаеновых цепей N:6(n-3)cis (справа), попарно с одинаковыми N, где N = 24 – 38. В нижней половине таблицы – аналогичным образом расположенные данные для пар цепей (n-6)-тетраенов N:4(n-6)cis и (n-3)-пентаенов N:5(n-3)cis. Легко видеть, что в каждой строке характеристики гибкости пар цепей одинаковы.

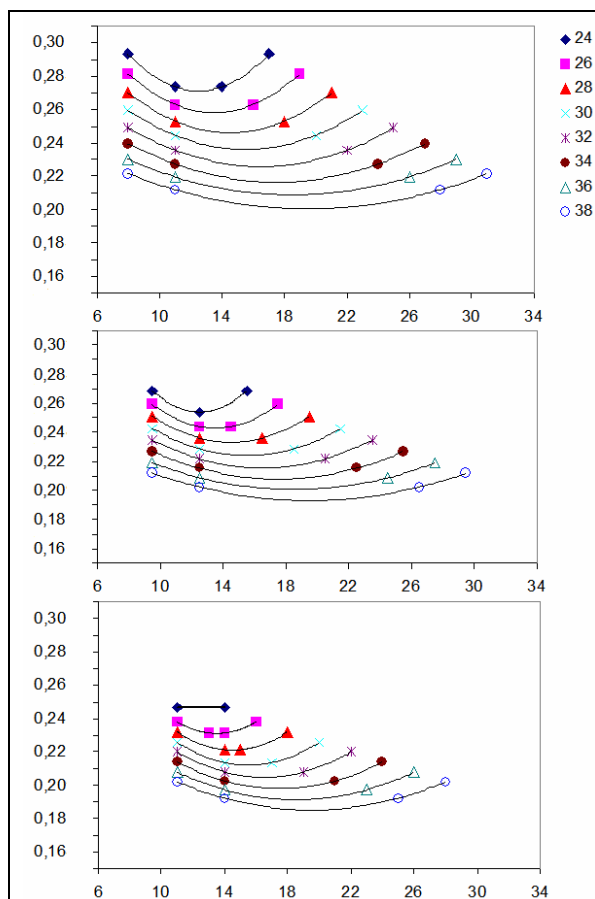


Рис.1.

Ось ординат: Величины гибкости  $\langle h_0^2 \rangle / L^2$  групп цепей (обозначения – в тексте)  
N:4(n-3)cis и N:4(n-6)cis (вверху);

N:5(n-3)cis и N:5(n-6)cis (в центре);

N:6(n-3)cis и N:6(n-6)cis (внизу).

Ось абсцисс:

Среднее арифметическое номеров атомов углерода, участвующих в образовании всех двойных связей цепи, X.

Метод МК, T = 25 °C. Доверительные интервалы, отвечающие 95% надежности согласно t-распределению Стьюдента, меньше размера символов.

Числа в колонке символов справа – количество атомов углерода в цепи.

Таблица 1

Значения отношений  $\langle h_0 \rangle / L$  для групп цепей\*

цепь	$\langle h_0 \rangle / L$	цепь	$\langle h_0 \rangle / L$
38:5(n-6)cis	0,423	38:6(n-3)cis	0,423
36:5(n-6)cis	0,430	36:6(n-3)cis	0,429
34:5(n-6)cis	0,436	34:6(n-3)cis	0,435
32:5(n-6)cis	0,442	32:6(n-3)cis	0,441
30:5(n-6)cis	0,449	30:6(n-3)cis	0,447
28:5(n-6)cis	0,456	28:6(n-3)cis	0,452
26:5(n-6)cis	0,463	26:6(n-3)cis	0,457
24:5(n-6)cis	0,472	24:6(n-3)cis	0,465
цепь	$\langle h_0 \rangle / L$	цепь	$\langle h_0 \rangle / L$
38:4(n-6)cis	0,434	38:5(n-3)cis	0,434
36:4(n-6)cis	0,441	36:5(n-3)cis	0,441
34:4(n-6)cis	0,449	34:5(n-3)cis	0,449
32:4(n-6)cis	0,458	32:5(n-3)cis	0,458
30:4(n-6)cis	0,466	30:5(n-3)cis	0,465
28:4(n-6)cis	0,474	28:5(n-3)cis	0,473
26:4(n-6)cis	0,482	26:5(n-3)cis	0,480
24:4(n-6)cis	0,491	24:5(n-3)cis	0,487

\* Погрешности вычисления величин не превышают  $\pm 0,004$ .

Итак, конкуренция влияния на свойства цепи количества k двойных связей и их местоположения (j или X) приводит к совпадению величины гибкости в результате «компенсационного эффекта». Вообще говоря, факт случайного совпадения отдельных величин у каких-то молекул не являет-

ся экстраординарным событием. Однако, данный компенсационный эффект представляется чрезвычайно важным: компенсацию обеспечивает, как видно из таблицы, одно и то же правило изменения строения цепи. Действительно, в верхней части таблицы имеем  $k=5, j=6 \Leftrightarrow k=6, j=3$ , а в нижней  $k=4, j=6 \Leftrightarrow k=5, j=3$ , т.е. компенсация достигается в том случае, когда количество двойных связей сокращается на единицу (что уменьшает гибкость цепи) при одновременном смещении всей группы двойных связей на 3 углеродных атома к середине цепи (что увеличивает гибкость). Выполняется ли это правило для всех номеров  $j$  вдоль по цепи рассмотренных необычных ацилов, а также ацилов в ином диапазоне  $N$ , подлежит исследованию, но, во всяком случае, оно выполняется при  $j=3$  и  $6$ .

Равенство гибкостей у подобных цепей с равным  $N$  означает, что их вклад в жидкость мембраны примерно одинаков. Вопрос, однако, состоит в том, в жидкости ли дело, когда речь идет об интерпретации экспериментальных данных для необычных ПН цепей, и даже если ответ положительный, – только ли поддержанием жидкости биомембраны ограничиваются их функции? Для того, чтобы пополнить искомые сведения о свойствах необычных ПН цепей, можно провести здесь «экстраполяцию» известных (Рабинович, Рипатти, 1994; Рабинович и др., 2004) сведений о свойствах ПН участков цепей обычного типа (поскольку в тех и других эти участки одинаковы).

(I) При температурах выше температуры фазового перехода гель – жидкий кристалл:

– (а) в полиеновых олигомерных участках цепей наиболее велики, по сравнению с цепями насыщенными, (1) степень ориентационного разупорядочения простых связей C-C, соседних с двойными C=C, (2) угловые флуктуации связей C-H во всех  $\text{CH}_2$ -группах вдоль по цепи, (3) пространственные флуктуации атомов углерода двойных связей C=C, (4) гибкость, – как цепи в целом, так и каждого ее участка. Такие свойства могут априори способствовать поддержанию надлежащей конформационной подвижности молекул ферментов (что является важнейшим фактором для нормального их функционирования), если они окружены ПН цепями; такие свойства могут обеспечить выигрыш в энергии липид-белковых взаимодействий по всей поверхности контакта молекул, а также создать надлежащие условия для согласованного взаимодействия ферментов сложных ферментативных систем;

– (б) характеристики полиеновой цепи в целом и каждого ее сегмента (связи) в отдельности являются наиболее стабильными при изменении температуры по сравнению с характеристиками насыщенных олигомеров. Если аннулярный слой вокруг ферментов обогащен ПН цепями, то такие свойства последних могут более надежно обеспечить стабильность условий и оптимизировать липид-белковые взаимодействия при флуктуациях температуры, причем, на каждом малом участке вдоль всей поверхности контакта белков и ПН цепей. Иначе говоря, эти свойства полиеновых цепей должны ослабить негативное воздействие изменений температуры на активность ферментов. С другой стороны, повышение концентрации ПН цепей в слоях вокруг ферментов может способствовать увеличению активности ферментов при общем повышении уровня метаболизма.

(II) При температурах ниже температуры фазового перехода гель – жидкий кристалл наиболее вероятная конформация, которую принимает ПН цепь, является вытянутой и имеет «уголкообразную» форму; она комплементарна аналогичным конформациям других ПН цепей, а также *trans*-конформациям, в которые с наибольшей вероятностью переходят при низких температурах насыщенные цепи. Такое свойство ПН цепи может ослабить разрушительное влияние низких температур на мембранные структуры, поскольку при глубоком охлаждении возникают такие упаковки ПН цепей липидов с насыщенными, в которых не возникают высокие механические напряжения.

Таким образом, свойства ПН участков цепей фактически экстремальны, их можно назвать уникальными. Поэтому разумно считать, что и функции в биомембранах ПН цепей, в том числе и необычных, должны быть более специфичными, не должны ограничиваться лишь задачей поддержания жидкости системы на должном уровне. Эти гомеовязкостные функции может успешно осуществлять совокупность насыщенных, моноеновых и диеновых цепей; они являются основным строительным материалом биомембраны. Безусловно, этот вывод можно перенести и на более длинные (необычные) цепи. Специфичность же роли в биомембране полиеновых цепей, как обычных, так и необычных, усматривается именно в том, что они не образуют матрицу мембраны в целом, а распределены в ней локально, преимущественно в областях (слоях), непосредственно примыкающих к интегральным белкам. Сосредоточение ПН цепей именно в подобных слоях представляется вполне естественным, целесообразным, поскольку в них могут быть использованы те уникальные свойства ПН цепей, которые



перечислены выше. Соответствующие белки (ферменты), возможно, обладают иногда размерами, достаточно протяженными вдоль нормали к поверхности мембраны. В условиях, когда требуется создать стабильный аннулярный слой на большую, чем обычно, глубину, может включиться механизм «удлинения» цепей. В обычных условиях роль стабилизатора могут играть такие цепи, как 20:4(n-6)*cis*, 22:5(n-6)*cis*, 22:6(n-3)*cis*, входящие в молекулы ФХ в *sn*-2-положениях, а *sn*-1-положения могут быть заняты насыщенными цепями 18:0 и 16:0. В случае ферментов с более протяженными размерами такие цепи, как 22:6(n-3)*cis* уже не могут обеспечить стабилизацию условий на должную глубину. Поэтому помимо таких ПН цепей, расположенных в *sn*-2-положениях, возникают «длинноцепочечные» (n-6) и (n-3) ПН ацилы в *sn*-1-положениях, и их конечный ПН участок обеспечивает надлежащее удлинение области стабильных условий в аннулярных липидных слоях мембрановстроенных ферментов. Косвенно это можно подтвердить количественными данными (Рабинович, Рипатти, 1990; Rabinovich, Ripatti, 1991): максимально вытянутая насыщенная цепь 18:0 (в *trans*-конформации) и ПН цепь 22:6(n-3)*cis* в вытянутой «уголкообразной» конформации имеют примерно одинаковую длину: 2.163 nm для 18:0, и 2.184 nm для 22:6(n-3)*cis*. Поэтому цепь 22:6(n-3)*cis* из *sn*-2-положения и ПН участок длиннопочечного ацила из *sn*-1-положения (начальная насыщенная часть которого содержит ~15–18 атомов С) следуют вдоль нормали к поверхности мембраны непосредственно друг за другом; тем самым на границе с мембрановстроенным ферментом создается непрерывная протяженная область, состоящая из ПН цепей.

Далее, если необычные ПН цепи не связаны с интегральными белками, то возникает вопрос о соответствии их длины и толщины монослоя. Концевой ПН фрагмент необычной цепи должен тогда либо глубоко проникать в противоположный монослой бислоя, либо за счет изгиба «возвращаться» в исходный монослой. В настоящей работе были проведены количественные оценки подобных свойств разных фрагментов, в результате чего оказалось, что концевые ПН фрагменты способны «сложиться сами на себя», в зависимости от длины фрагмента, не более 2–3 раз. Так или иначе, участки цепи длиной ~7 атомов углерода должны оставаться вне исходного монослоя и тем самым вносить возмущение в структуру мембраны. Таким образом, обсуждавшаяся выше концепция о локализации молекул липидов с такими необычными цепями в специальных областях (пограничных слоях с мембраносвязанными включениями, белками), более реалистична; в ее пользу свидетельствует также необычное (т.е. *sn*-1) расположение этих ПН цепей в липидной молекуле, – при том, что вторая (обычная) ПН цепь есть в положении *sn*-2.

Представляется, что настоящее исследование свойств необычных ПН цепей липидов позволяет сделать шаг к более глубокому пониманию взаимосвязей «структура – свойства – функции» для молекул обширного класса, включающего и такие ЖК цепи различных биомембранных структур.

*Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ для ведущих научных школ НШ-306.2008.4 и Visby programme 00961/2008.*

#### Литература

- Рабинович А.Л., Рипатти П.О., 1990. // Доклады АН СССР. Т. 314. С. 752–755.  
 Рабинович А.Л., Рипатти П.О., 1994. // Успехи совр. биологии. Т. 114. С. 581–594.  
 Рабинович А.Л., Рипатти П.О., Балабаев Н.К., 2004. // Труды КарНЦ РАН. Петрозаводск, Изд. КарНЦ РАН. Вып. 6. С. 99–137.  
 Флори П., 1971. Статистическая механика цепных молекул. / Пер. с англ. М.: Мир. 440 с.  
 Avelaño M.I., 1987. // J. Biol. Chem. V. 262. P. 1172–1179.  
 Avelaño M.I., 1988. // Biochemistry. V. 27. P. 1229–1239.  
 Avelaño M.I., Sprecher H., 1987. // J. Biol. Chem. V. 262. P. 1180–1186.  
 Djerassi C., Lam W.K., 1991. // Acc. Chem. Res. V. 24. P. 69–75.  
 Joseph J.D., 1979. // Prog. Lipid Res. V. 18. P. 1–48.  
 Litchfield C., Tyszkiewicz J., Marcantonio E.E., Noto G., 1979. // Lipids. V. 14. P. 619–622.  
 Mansour M.P., Volkman J.K., Holdsworth D.G., Jackson A.E., Blackburn S.I., 1999. // Phytochemistry. V. 50. P. 541–548.  
 Rabinovich A.L., 1991. // Makromol. Chem. V. 192. P. 359–375.  
 Rabinovich A.L., Ripatti P.O., 1991. // Biochim. Biophys. Acta. V. 1085. P. 53–62.  
 Rezanka T., 1989. // Prog. Lipid Res. V. 28. P. 147–187.  
 Rezanka T., 2000. // Biochem. Systematics and Ecol. V. 28. P. 847–856.

- Rezanka T., Nedbalova L., Sigler K., 2008. // *Phytochemistry*. V. 69. P. 2391–2399.  
 Rezanka T., Nedbalova L., Sigler K., 2008a. // *Phytochemistry*. V. 69. P. 2849–2855.  
 Rezanka T., Sigler K., 2009. // *Progr. Lipid Res.* V. 48. P. 206–238.  
 Robinson B.S., Johnson D.W., Poulos A., 1990. // *Biochem. J.* V. 265. P. 763–767.  
 Rotstein N.P., Avelaño M.I., 1988. // *Biochem. J.* V. 249. P. 191–200.  
 Stillwell W., 2008. // *Chem. Phys. Lipids*. V. 153. P. 1–2.  
 Stillwell W., Wassall S.R., 2003. // *Chem. Phys. Lipids*. V. 126. P. 1–27.  
 Valentine R.C., Valentine D.L., 2004. // *Progr. Lipid Res.* V. 43. P. 383–402.  
 Van Pelt C.K., Huang M.C., Tschanz C.L., Brenna J.T., 1999. // *J. Lipid Res.* V. 40. P. 1501–1505.

## VERY LONG POLYENOIC FATTY ACID CHAINS OF MEMBRANE LIPIDS: COMPUTER SIMULATIONS FOR STUDY OF PROPERTIES AND FUNCTION FORECAST

**A.L. Rabinovich, P.O. Ripatti**

Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences,  
 Petrozavodsk, Russia, e-mail: rabinov@krc.karelia.ru

Monte Carlo computer simulations of very long polyunsaturated fatty acid chains with methylene-interrupted *cis* double bonds N:4(n-6)*cis*, N:4(n-3)*cis*, N:5(n-6)*cis*, N:5(n-3)*cis*, N:6(n-6)*cis*, N:6(n-3)*cis* have been carried out; N is carbon atom number (N=24,26,28,...,38). Variations of all torsion angles of the chains were considered to be continuous from 0 to 360 deg. The conformational energy of a chain was represented as a sum of the structural unit energies. A scheme of pairwise interdependence of torsions was used. The units reproduce precisely the chain structure. The energy of nonbonded interactions, torsional and electrostatic terms were taken into account. The method is applied to an investigation of the flexibility and other characteristics of the chains.

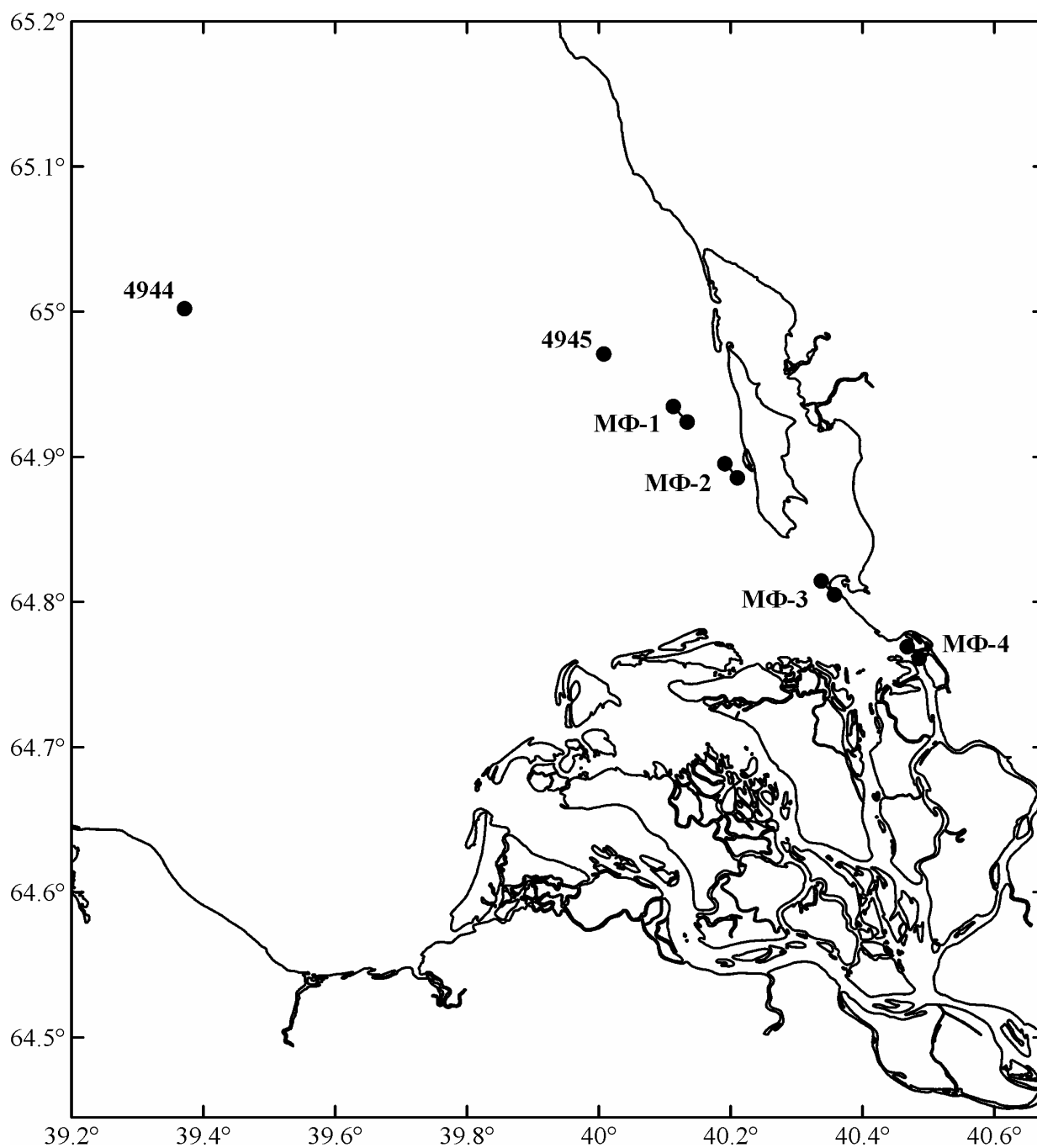
## ФИТОПЛАНКТОН ДВИНСКОГО ЗАЛИВА В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ РЕЧНЫХ ВОД

**И.Г. Радченко, Л.В. Ильяш**

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия  
 e-mail: IraRadchenko@yandex.ru

В Двинский залив впадает самая крупная река беломорского бассейна – Северная Двина. Годовой сток Северной Двины составляет в среднем 110 км<sup>3</sup> (Gordeev et al., 1996). Стоковое течение Северной Двины прижимается к Зимнему берегу и значительно опресняет поверхностную водную массу (Гидрометеорология, 1991; Солянкин и др., 1994). По ходу стокового течения происходит смешение речных и морских вод, и соленость поверхностного слоя возрастает. В области влияния стокового течения отмечаются высокие градиенты в пространственном распределении основных биогенных элементов (Ефимова, Цыцарин, 2002). Пространственный градиент абиотических условий обуславливает изменение обилия и структуры сообщества планктонных водорослей. Сведения о фитопланктоне в районе, подверженном воздействию вод р. Северная Двина, немногочисленны и охватывают только позднелетний период (Шевченко и др., 2007) и летний (Македонская, 2005) периоды. В настоящей работе представлены данные по видовому составу и структуре фитопланктона Двинского залива в зоне влияния вод Северной Двины в начале сентября.

Материалом для работы послужили пробы фитопланктона, отобранные в юго-восточной части Двинского залива на 6 станциях (рис. 1) с поверхностного горизонта 3 сентября 2007 г. в ходе 53 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш». На четырех станциях (МФ-1 – МФ-4) пробы отбирали без остановки судна в течение 5 мин, поэтому на рис. 1 они представлены двумя точками с координатами, соответствующими началу и концу отбора проб. Соленость определяли мультипараметрическим зондом FSI. Пробы воды (объем 0,5 – 4,6 л) концентрировали методом обратной фильтрации (диаметр пор 2 мкм) и фиксировали раствором Люголя. Фитопланктон просчитывали под микроскопом в камере типа Нажотта. Объемы клеток определяли методом геометрического подобия (Hillebrand et al., 1999) с последующим переводом в единицы углерода по аллометрическим зависимостям (Menden-Deuer, Lessard, 2000).



Станции отбора проб фитопланктона

Для анализа сходства сообществ фитопланктона использовали пакет анализа экологических данных PRIMER Version 5.2.4. (Clarke, Warwick, 2001). В качестве характеристики структуры фитопланктона рассматривали относительные значения биомассы популяций водорослей. Сходство оценивали с помощью индекса Брея-Кёртиса. Затем проводили ординацию сообществ методом многомерного шкалирования (MDS). Характерные виды, обуславливающие высокое сходство внутри каждой группы проб, выделяли с помощью процедуры SIMPER (Clarke, Warwick, 2001).

На исследованной акватории был выражен пространственный градиент солености (табл. 1). На ближайшей к устью реки ст. МФ-4 соленость ( $S$ ) составляла 0,28–0,33‰, повышаясь до 11,6‰ на ст. МФ-1. На ст. 4945 распреснение было уже незначительным, а на ст. 4944  $S$  достигала характерных для беломорских поверхностных вод значений. Согласно

классификации вод по солености (Хлебович, 1974), воды на ст. МФ-4 и МФ-3 соответствуют олигогалинной зоне, на ст. МФ-2 и МФ-1 – мезогалинной зоне, а на ст. 4944 и 4945 – полигалинной зоне.

В фитопланктоне исследованного района идентифицировано 123 вида и варьета, из которых 37 – диатомовые, 43 – зеленые водоросли, 23 – цианобактерии, 18 – динофлагелляты и по одному виду из харовых и желтозеленых. Зеленые и цианобактерии были представлены только пресноводными формами, динофлагелляты – только морскими, а диатомовые – как пресноводными, так и морскими формами.

Видовой состав, обилие и структура фитопланктона существенно изменялись по градиенту  $S$  (табл. 1). Наибольшее видовое богатство ( $n$ ) и суммарная численность водорослей ( $N$ ) наблюдались при наименьшей  $S$ , тогда как наибольшая суммарная биомасса ( $B$ ) отмечена при самой высокой  $S$ . По градиенту  $S$  значения  $n$ ,  $N$  и  $B$  уменьшались, а при достижении характерной для беломорских поверхностных  $S$ , эти показатели снова возрастали.

Таблица 1

**Число видов, суммарная численность ( $N$ ), суммарная биомасса ( $B$ ) фитопланктона, первые два-три по обилию вида водорослей и их вклад в суммарную биомассу**

Станция	Соленость, ‰	Число видов	$N$ , млн кл/м <sup>3</sup>	$B$ , мг С/м <sup>3</sup>	Первые по обилию виды и их вклад в $B$ (%)
МФ-4	0,28–0,33	58	2397	43,7	<i>Aulacoseira italica</i> (34), <i>Aulacoseira islandica</i> (14)
МФ-3	1,2–1,6	52	1407	26,6	<i>Aulacoseira italica</i> . (33), <i>Aulacoseira islandica</i> (26)
МФ-2	5,8–5,9	35	766	14,5	<i>Aulacoseira islandica</i> (23), <i>Skeletonema</i> cf. <i>subsalsum</i> (17)
МФ-1	8,9–11,6	32	325	9,5	<i>Coscinodiscus</i> sp. (20), <i>Skeletonema</i> cf. <i>subsalsum</i> (17), <i>Dinophysis norvegica</i> (16)
4945	22,76	26	17	9,7	<i>Dinophysis norvegica</i> (27), <i>Ceratium fusus</i> (21)
4944	25,45	32	36	67,9	<i>Ditylum brightwellii</i> (65), <i>Ceratium fusus</i> (18)

По градиенту  $S$  изменялась и структура фитопланктона. В олигогалинной зоне фитопланктон был представлен только пресноводными формами. В мезогалинной зоне при солености 11,6 ‰ (ст. МФ-1) видовое богатство пресноводных форм было в 2,2 раза меньше такового на ст. МФ-4 (табл. 2). В мезогалинной зоне наиболее резко снижалось число видов зеленых водорослей – уже при 5,9 ‰ видовое богатство зеленых упало в 2,3 раза. Сопоставление видового богатства пресноводных водорослей на ст. МФ-1 и МФ-4 показывает, что в пределах олиго- и мезогалинной зон видовое богатство пресноводных диатомей снизилось на 42%, зеленых – на 60%, а цианобактерий – на 58%. В полигалинной зоне на ст. 4945 пресноводный фитопланктон был представлен только небольшим числом видов цианобактерий и зеленых водорослей, а на ст. 4944 пресноводные формы отсутствовали.

Таблица 2

**Число видов ( $n$ ), биомасса ( $B$ , мкг С/м<sup>3</sup>) и относительное снижение биомассы ( $\Delta B/B$ ) основных групп пресноводного фитопланктона**

Станции	Диатомеи			Зеленые			Цианобактерии		
	$n$	$B$	$\Delta B/B$	$n$	$B$	$\Delta B/B$	$n$	$B$	$\Delta B/B$
МФ-4	19	36074		25	3701		12	2391	
МФ-3	16	24011	0,33	26	1244	0,66	9	1065	0,55
МФ-2	13	9656	0,60	11	746	0,40	7	1261	-
МФ-1	11	3483	0,64	10	458	0,39	5	420	0,67
4945	0	0	1,00	4	11	0,98	1	0,32	>0,99

Небольшое число видов морских диатомей и динофлагеллят появилось в планктоне в мезогалинной зоне при  $S=5,9$  ‰, с увеличением  $S$  их видовое богатство возрастало (табл.3).

Число видов (*n*) и биомасса (*B*, мкг С/м<sup>3</sup>) основных групп морского фитопланктона

Станции	Диатомеи		Динофлагелляты	
	<i>n</i>	<i>B</i>	<i>n</i>	<i>B</i>
МФ-2	3	1362	1	438
МФ-1	4	3280	2	1811
4945	9	3296	11	6153
4944	11	44896	18	22632

В олигогалинной и мезогалинной зонах по биомассе преобладали пресноводные диатомеи, составляя 90% (ст. МФ-3) – 37% (ст. МФ-1) от *B*. Такие диатомеи как *Aulacoseira italica* и *A. islandica* давали наибольший вклад в *B* (табл. 1). По мере увеличения *S* биомасса пресноводных диатомовых водорослей уменьшалась (табл. 2). В пределах олигогалинной зоны относительное снижение биомассы ( $\Delta B/B$ ) пресноводных диатомей было меньше, чем при переходе в мезогалинную зону и в пределах мезогалинной зоны (табл. 2). В результате снижения обилия пресноводных и увеличения обилия морских диатомей величины биомассы пресноводных и морских диатомей на ст. МФ-1 были практически равными и составили, соответственно 37% и 34% от *B*, а в число доминирующих форм входили пресноводная диатомея *Skeletonema cf. subsalsum* и морская *Coscinodiscus* sp. В полигалинной зоне пресноводные диатомеи отсутствовали и по *B* преобладали либо морские диатомеи (66% от *B*, ст. 4944), либо динофлагелляты (64% от *B*, ст. 4945).

В олиго- и мезогалинных зонах вклад цианобактерий и зеленых водорослей в суммарную биомассу составлял 4–8,7% и 4,7–8,5%, соответственно. Небольшое количество цианобактерий и зеленых водорослей (в сумме 0,12% от *B*) присутствовало также в полигалинной зоне на ст. 4945. У зеленых водорослей наиболее резкое снижение биомассы отмечено еще в пределах олигогалинной зоны при увеличении *S* до 1,6‰ (табл. 2). У цианобактерий биомасса наиболее резко снизилась в мезогалинной зоне при увеличении *S* до 11,6 ‰. Сопоставление обилия пресноводных водорослей на ст. МФ-1 и МФ-4 показывает, что в пределах олиго- и мезогалинной зон биомасса пресноводных диатомей снизилась на 90%, биомасса зеленых – на 88%, а биомасса цианобактерий – на 82%. Биомасса всех групп пресноводного фитопланктона снижалась в большей степени, чем их видовое богатство.

Биомасса морских водорослей (диатомей и динофлагеллят) возрастала с увеличением солёности (табл. 3). В итоге разнонаправленных трендов изменения биомассы пресноводных и морских водорослей по градиенту солёности, суммарная биомасса фитопланктона уменьшалась от олигогалинной до полигалинной зоны, а при достижении *S*, характерной для беломорских поверхностных вод, суммарная биомасса снова возрастала. Аналогичный характер пространственного распределения биомассы фитопланктона отмечен и в ряде других эстуриев умеренной зоны (Muylaert, Sabbe, 1999).

Анализ сходства структуры фитопланктона в олиго- и мезогалинной зонах показал, что фитопланктон на станциях олигогалинной зоны более сходен (сходство 72%), чем на станциях мезогалинной зоны (сходство 47%). Характерными видами, дающими наибольший вклад в сходство структуры, в олигогалинной зоне являлись *Aulacoseira italica* и *A. islandica*. В мезогалинной зоне характерным видом была *Skeletonema cf. subsalsum*.

В олигогалинной и мезогалинной зонах эстуриев сезонная динамика и пространственное распределение фитопланктона определяется комплексом факторов, основными из которых являются объем речного стока, интенсивность вертикального перемешивания, световой режим в водном столбе (мутность), состав и обилие собственно реофитопланктона, горизонтальный обмен с морским бассейном (Cloern et al., 1983). При низких видовом богатстве и обилии реофитопланктона эти показатели минимальны и у фитопланктона в эстуарии. При сезонных пиках фитопланктона в реке обилие фитопланктона в олигогалинной и мезогалинной зонах эстуриев максимально (Filardo, Dunstan, 1985). Такая динамика, по-видимому, характерна и для эстуария Северной Двины. Так в конце зимнего периода фитопланктон подледного слоя в юго-восточной части Двинского залива (соответствующей исследованному нами району) был представлен лишь единичными клетками исключительно пресноводных диатомовых и зеленых водорослей (Шевченко и др., 2007). В подледном фитопланктоне эстуария цианобактерии отмечены не были, тогда как в сентябре они были

представлены довольно разнообразно (23 вида). В августе в период высокого обилия цианобактерий в речных водах эта группа давала основной вклад в численность фитопланктона на десяти станциях разреза от г. Северодвинск в юго-западной части Двинского залива (Македонская, 2005).

Основными факторами, определяющими снижение обилия и видового богатства фитопланктона в олигогалинной и мезогалинной зонах эстуария, является смертность пресноводных форм в результате солевого стресса (Rebehn et al., 1993; Flameling, Kromkamp, 1994). При этом чувствительность водорослей к увеличению солёности является видоспецифичной (Muylaert, Sabbe, 1999). Однако в целом, диапазон солёности 5 – 8‰ является критическим для большинства представителей пресноводной флоры и фауны (Хлебович, 1974; McLusky, 1989). Видоспецифичная устойчивость водорослей к солевому стрессу проявлялась и в фитопланктоне исследованного района. Так зеленые водоросли оказались более чувствительны к повышению солёности, чем диатомовые и цианобактерии. При этом у диатомей и цианобактерий наибольшее относительное снижение биомассы наблюдалось как раз при повышении солёности от 5,9 до 11,6‰, т.е. в диапазоне критической солёности.

Многие морские водоросли способны выдерживать значительное распреснение и являются эвригалинными формами (Carpelan, 1978; Brand, 1984). Так в фитопланктоне олигогалинной зоны эстуария р. Кемь Белого моря в конце августа было обнаружено 19 видов водорослей, из которых большинство (14 видов) являлись морскими формами (Shevchenko et al., 2005). Эвригалинная диатомея *Detonula confervacea* входила в состав доминирующих видов, а диатомеи *Skeletonema costatum*, *Paralia sulcata* и *Rhizosolenia hebetata* составляли комплекс субдоминантов. При этом суммарная биомасса фитопланктона (30,2 мгС/м<sup>3</sup>) (Shevchenko et al., 2005) была аналогична средней биомассе фитопланктона в олигогалинной зоне эстуария Северной Двины (35,5 мгС/м<sup>3</sup>). В олигогалинной зоне эстуария Северной Двины морские диатомеи нами не обнаружены. Такое различие в структуре фитопланктона двух беломорских эстуариев могут быть обусловлены более высокой концентрацией взвеси в эстуарии Северной Двины (Shevchenko et al., 2005). При высокой мутности и, соответственно, сильном световом лимитировании, росту водорослей и их акклимации к пониженной солёности препятствуют высокие траты на дыхание, превосходящие фотосинтез (Cole et al., 1992).

В заключение считаем необходимым остановиться на следующих важных моментах. В исследованном районе эстуария Северной Двины на концентрацию взвеси в поверхностных водах существенное влияние оказывают приливно-отливные движения (Шевченко и др., 2007). Это дает основание ожидать значимого изменения обилия фитопланктона в течение приливно-отливного цикла. Существенное варьирование биомассы и структуры фитопланктона в течение приливно-отливного цикла отмечено во всех заливах Белого моря (Радченко и др., 1997; Ильяш и др., 2003) и во многих эстуариях (см. например, Goosen et al., 1999). Для выявления динамики фитопланктона олиго-, мезо- и полигалинных зон эстуария Северной Двины в разные фазы прилива необходимы дополнительные исследования.

Авторы благодарны экипажу НИС «Академик Мстислав Келдыш», а также Е.В. Запаре и В.П. Шевченко за сбор материала. Мы признательны академику А.П. Лисицину за поддержку наших исследований.

#### Литература

- Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР, 1991. Т. II. Белое море. Вып. 2 / Под ред. Б.М. Затучной, Д.Е. Гершановича. СПб: Гидрометеоиздат. 194 с.
- Ефимова Л.Е., Цыцарин А.Г., 2002. Пространственно-временное распределение биогенных элементов в зоне смешения речных и морских вод Двинского залива Белого моря (на примере устьевой области Северной Двины и верхней части залива) // Исследование океанов и морей. СПб: Гидрометеоиздат. Вып. 208. С. 199 – 216.
- Ильяш Л.В., Житина Л.С., Федоров В.Д., 2003. Фитопланктон Белого моря. М.: «Янус-К». 168 с.
- Македонская И.Ю., 2005. О состоянии фитопланктонного сообщества в юго-западной части Двинского залива Белого моря в августе 2003 г. // Материалы отчетной сессии Северного отделения ПИНРО по итогам научно-исследовательских работ 2003–2004 гг. Архангельск: Изд-во АГТУ. С. 32–42.
- Радченко И.Г., Ильяш Л.В., Полякова Т.И., Федоров В.Д., 1997. Летне-осенний планктон разных районов Белого моря // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 16. Биология, № 4. С. 24–29.

Солянкин Е.В., Зозуля С.А., Кровнин А.С., Масленников В.В., 1994. Термохалинная структура и динамика вод Белого моря летом 1991 г. // Комплексные исследования экосистемы Белого моря: Сборник научных трудов. М.: ВНИРО. С. 8–25.

Хлебович В.В., 1974. Критическая соленость биологических процессов. Л.: Наука. 235 с.

Шевченко В.П., Филиппов А.С., Богунов А.Ю., Гоголицын В.А., Лещев А.В., Толстиков А.В., 2007. Геохимические исследования взвеси в маргинальном фильтре реки Северная Двина в конце зимнего периода // Вестник АГТУ. № 70. С. 164–176.

Brand, L. E. 1984. The salinity tolerance of forty-six marine phytoplankton isolates // Estuar. Coast. Shelf Sci. V. 18. P. 543–556.

Carpelan, L.H., 1978. Evolutionary euryhalinity of diatoms in changing environments // Nova Hedwig. V. 29. P. 489–526.

Clarke K R, Warwick R M., 2001. Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation. 2nd edition: PRIMER-E. Plymouth: Plymouth Marine Laboratory. 172 p.

Cloern, J.E., Andrea, E.A., Cole, E.C., Wong, R.L.E., Arthur, J.F., Ball, M.D., 1983. River discharge controls phytoplankton dynamics in the northern San Francisco Bay estuary // Estuarine Coastal Shelf Sci. V. 16. P. 415–429.

Cole, J.J., Caraco, N.F., Peierls, B.L., 1992. Can phytoplankton maintain a positive carbon balance in a turbid, freshwater, tidal estuary? // Limnol. Oceanogr. V. 37. P. 1608–1617.

Filardo, M.J., Dunstan, W.M., 1985. Hydrodynamic control of phytoplankton in low salinity waters of the James River estuary, Virginia, U.S.A. // Estuarine, Coastal Shelf Sci. V. 21. P. 653–667.

Flameling, J.P., Kromkamp, J., 1994. Responses of respiration and photosynthesis of *Scenedesmus protuberans* Fritsch to gradual and steep salinity increases // J. Plankton Res. V. 12. P. 1781–1792.

Goosen N.K., Kromkamp J., Peene J., van Rijswijk P., van Breugel P., 1999. Bacterial and phytoplankton production in the maximum turbidity zone of three European estuaries: the Elbe, Westerschelde and Gironde // Journal of Marine Systems. V. 22. P. 151–171.

Gordeev V.V., Martin J.M., Sidorov I.S., Sidorova M.N., 1996. A reassessment of the Eurasian river input of water, sediment, major elements, and nutrients to the Arctic Ocean // Amer. J. Sci. V. 296. P. 664 – 691.

Hillebrand H., Dürselen C.-D., Kirschtel D., Pollinger U., Zohary T., 1999. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae // J. Phycol. V. 35. P. 403–424.

McLusky, D.S., 1989. The Estuarine Ecosystem. N. Y.: Chapman & Hall. 215 p.

Menden-Deuer S., Lessard E.J., 2000. Carbon to volume relationships for dinoflagellates, diatoms, and other protest plankton // Limnol. Oceanogr. V. 45, № 3. P. 569–579.

Muylaert K., Sabbe K., 1999. Spring phytoplankton assemblages in and around the maximum turbidity zone of the estuaries of the Elbe (Germany), the Schelde (Belgium / The Netherlands) and the Gironde (France) // Journal of Marine Systems. V. 22. P. 133–149.

Rebehn, R., Schuchardt, B., Schirmer, M., Kirst, G.O., 1993. The distribution of *Actinocyclus normanii* Bacillariophyceae in estuaries: field observations and laboratory experiments // Neth. J. Sea Res. V. 27. P. 205–214.

Shevchenko V.P., Dolotov Y.S., Filatov N.N., Alexeeva T.N., Filippov A.S., Nöthing E.-M., Novigatsky A.N., Pautova L.A., Platonov A.V., Politova N.V., Rat'kova T.N., Stein R., 2005. Biogeochemistry of the Kem' River estuary, White Sea (Russia) // Hydrology and Earth System Sciences. V. 9. P. 57–66.

## РОЛЬ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ В ФОРМИРОВАНИИ ЛИПИДНОГО СОСТАВА ЛИПОПРОТЕИДОВ РЫБ

Т.И. Регеранд<sup>1</sup>, М.В. Лизенко<sup>2</sup>, Е.И. Лизенко<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Учреждение Российской академии наук Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск, Россия

<sup>2</sup>Кафедра факультетской терапии медицинского факультета ПГУ, г. Петрозаводск

<sup>3</sup>Учреждение Российской академии наук Институт биологии Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск, e-mail: regerand@nwpi.krc.karelia.ru

### Введение

Представители ихтиофауны являются одним из основных компонентов биологических ресурсов водной среды, как с точки зрения естественного биоразнообразия любого водоема, так и использования его в виде ценного пищевого продукта для человека. Воспроизводство запасов биоресурсов, в том числе и искусственное, становится серьезной актуальной задачей в условиях измененной окружающей среды практически всех водоемов, начиная от скромных по размерам озер и рек и заканчивая океаном. Для проведения экологически грамотной деятельности по использова-

нию и охране водных биологических ресурсов необходимо понимать принципы существования объектов вплоть до клеточного уровня.

Целью данной работы является анализ влияния различных факторов на формирования липопротеидов (ЛП) сыворотки крови (СК) рыб, осуществляющих транспорт липидов в организме. ЛП рыб аналогичны по строению с другими представителями позвоночных (Black, Skinner, 1986; Babin, Vere, 1989): поверхность их окружена однослойной мембраной, состоящей из белков, фосфолипидов (ФЛ) и холестерина (ХС), в центре частицы сосредоточены нерастворимые гидрофобные липиды – эфиры холестерина (ЭХС) и триацилглицериды (ТГ). В такой упаковке нерастворимые липиды легко передвигаются в сыворотке крови и переносятся во все органы и ткани и выводятся из организма.

В соответствии с выполняемыми функциями ЛП подразделяются на частицы низкой плотности (ЛПНП), ответственные за доставку липидов, главным образом холестерина, к клеткам, и высокой плотности (ЛПВП), осуществляющие вынос таковых из организма. Установлено, что качественный состав липидов в различных ЛП всех представителей позвоночных одинаков. Однако, в сыворотке крови человека и многих животных основную долю составляют ЛПНП, тогда как у исследованных к настоящему времени рыб ЛПВП преобладают над ЛПНП (Nelson, 1974; Berg, 1992; Лизенко и др., 1995).

### Материалы и методы

Были исследованы следующие представители ихтиофауны: осетр – *Asipenser gildenstadti* L., белуга – *Huso huso* L., форель – *Salmo gairdnerii* L., сиг – *Coregonus lavaretus* L., судак – *Stizostedion lucioperca* L., щука – *Esox lutius* L., лещ – *Abramis brama* L., налим – *Lota lota* L.. Осетровые, осетр и белуга, были выловлены в бассейне Каспийского моря, форель – в форелевом хозяйстве Кондопожской губы Онежского озера, а сиг, судак, щука, лещ и налим в центральной части Онежского озера, сохраняющей природный олиготрофный статус и высокое качество воды (Лозовик и др., 2003).

Кровь у рыб брали из хвостовой вены, получали сыворотку, из которой осаждали ЛП по разработанной ранее методике (Регеранд и др., 1990). Полученные методом осаждения ЛП далее обрабатывали смесью хлороформа – метанола (2:1, по объему) для извлечения липидов, которые разделяли методом тонкослойной хроматографии на отдельные компоненты и определяли их количественно спектрофотометрией. Для анализа сыворотки крови животных использовали сборные пробы крови, полученные от 20–30 рыб каждого вида в зависимости от их размера. Достоверными принимали различия при уровне значимости  $P < 0,05$ .

### Результаты и обсуждение

Полученные результаты проанализированы по следующим направлениям: филогенетическое, онтогенетическое, физиологическое и экологическое.

Установлено, что содержание общих липидов в ЛПНП хрящевых рыб, осетра и белуги, а также представителей более ранних видов, форели и судака, находится в пределах 200 мг/дл, тогда как у современных костистых рыб, щуки, леща и налима, этот показатель выше в 1,5 раза (табл.1). Анализ данных показывает, что эволюционный процесс направлен на увеличение содержания фракции ЛПНП, а в них липидов, от хрящевых до современных костистых представителей.

Таблица 1

Содержание общих липидов в сыворотке крови рыб, (мг/дл)

Вид рыб	Фракции липопротеидов				K <sub>1</sub>
	ЛПНП	ЛПВП <sub>2</sub>	ЛПВП <sub>3</sub>	ЛПВП	
Осетр	190.2 ± 16.1	803.1 ± 23.0	317.3 ± 22.1	1120.4	5,9
Белуга	200.1 ± 16.2	600.3 ± 25.1	280.2 ± 28.0	880.5	4,4
Форель	210.3 ± 14.1	730.1 ± 24.2	337.2 ± 25.1	1007.3	4,8
Сиг	133.2 ± 15.0	429.2 ± 20.1	512.2 ± 24.3	941.4	7,1
Судак	198.3 ± 12.1	443.1 ± 18.0	383.2 ± 17.1	826.3	4,2
Щука	347.4 ± 18.1	349.1 ± 15.1	265.3 ± 20.2	614.4	1,8
Лещ	349.2 ± 19.1	195.1 ± 14.2	404.3 ± 20.1	599.4	1,7
Налим	370.1 ± 15.2	94.1 ± 11.0	344.2 ± 15.1	438.3	1,2

Примечание: K<sub>1</sub> – содержание общих липидов в ЛПВП/ содержание общих липидов в ЛПНП



ЛПВП сформировались значительно раньше (Gilbert, Chino, 1974), чем ЛПНП, которые считаются более «молодыми» и преобладают в сыворотке современных организмов, в том числе у многих млекопитающих и человека. В подтверждение данной теории установлено, что содержание липидов в ЛПВП<sub>2</sub> и ЛПВП<sub>3</sub> и суммарное их количество значительно выше у осетра, белуги, форели, сига и судака, чем у щуки, леща и налима. Таким образом, в целом у современных костистых рыб уровень ЛПВП в 2 – 3 раза ниже, чем у представителя наиболее древнего вида – осетра (Лизенко и др., 1998). В процессе эволюционного развития в сыворотке крови рыб происходило снижение уровня ЛПВП и нарастание ЛПНП, т.е. одна транспортная система липидов постепенно заменялась другой.

Аналогично содержанию общих липидов в ЛП сыворотки крови рыб, установлено возрастание уровня суммарного ХС в ЛПНП от осетровых до современных костистых рыб. Самое высокое его количество определено в ЛПНП щуки, леща и налима, а самое низкое у осетра. Концентрация ХС в ЛПВП высока у всех представителей, но особенно, у форели, судака и осетра, где она в среднем в 7 раз превосходила таковую в ЛПНП. Даже у современных костистых рыб уровень ХС в ЛПВП почти в 1,5 раза выше, чем в ЛПНП. Эволюционный процесс увеличения содержания ХС наиболее четко отмечается в ЛПНП, тогда как в ЛПВП такой закономерности не установлено (Лизенко и др., 2004).

Эволюционные изменения отмечены также и по содержанию ФЛ и, особенно входящего в их состав фосфатидалхолина (ФХ), который участвует в образовании биологических мембран клеток, тканей и органов, а также и самих частиц ЛП. Установлено, что наиболее высокое количество общих ФЛ и главного их компонента ФХ содержится в ЛПВП сыворотки крови форели, сига и осетра (табл. 2), по сравнению с судаком, щукой, лещом и налимом. Наоборот, в ЛПНП уровень общих ФЛ и ФХ выше у современных костистых рыб.

Таблица 2

**Содержание фосфолипидов в ЛП сыворотки крови рыб, (мг/дл)**

Вид рыб	Общие ФЛ		K <sub>2</sub>	ФХ		K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>
	ЛПНП	ЛПВП		ЛПНП	ЛПВП		
Осетр	82.1±8.0	490.2±21.1	6.0	58.1±2.2	361.1±13.0	6.2	0.11
Белуга	77.2±4.1	335.3± 20.1	4.3	56.3±2.1	244.1±9.5	4.5	0.11
Форель	92.1±5.3	580.2±27.3	6.3	50.1±1.8	385.3±14.1	6.5	0.18
Сиг	78.1±3.1	621.4±22.3	8.1	40.1±1.2	406.2±15.1	10.1	0.18
Судак	82.3±4.0	210.1±14.2	2.5	32.1±1.2	280.4±9.1	2.4	0.19
Щука	176.1±12.2	324.1±19.2	2.4	100.3±4.3	243.1±9.2	2.4	0.21
Лещ	225.1±15.1	338.2±15.1	1.5	149.2±4.5	230.1±8.5	1.5	0.26
Налим	207.2±14.4	215.2±9.1	1.0	110.1±3.9	133.2±4.1	1.0	0.28

Примечание: K<sub>2</sub> – ФЛ ЛПВП/ФЛ ЛПНП, K<sub>3</sub> – ФХ ЛПВП/ФХ ЛПНП, K<sub>4</sub> – ХС ЛПВП/ФХ

Для выяснению тенденции эволюционного изменения концентраций общих ФЛ и ФХ в ЛП у рыб от хрящевых до костистых проведены расчеты коэффициентов относительного содержания этих липидов в ЛПВП к таковым в ЛПНП. Установлено, что как K<sub>2</sub>, так и K<sub>3</sub> снижаются от древних рыб до современных видов. Данный факт свидетельствует о том, что уровень общих ФЛ, а в них ФХ, в ЛПВП в процессе эволюции убывает в несколько раз. Особый интерес вызывает величина коэффициента K<sub>4</sub>, которая отражает степень акцепторной функции ЛПВП, связанной с удалением ХС из организма. Определена тенденция увеличения данного показателя, что свидетельствует о снижении акцепторной активности ЛПВП по филогенетической составляющей от древних хрящевых до современных костистых рыб.

В качестве примера изменения содержания липидов в ЛПНП и ЛПВП у рыб в зависимости от физиологических особенностей организма (Лизенко и др., 1995) приведены значения уровня общих липидов и отдельных фракций в ЛПНП и ЛПВП самцов и самок осетра и судака (табл. 3). Определено, что у рыб обоих видов содержание общих липидов в ЛПНП и ЛПВП, а в них ФЛ и, главным образом, ФХ, и ТГ выше у самок. Напротив, у самцов преобладал ХС.

Таблица 3

## Липидный состав ЛП сыворотки крови самок и самцов осетра и судака, (мг/дл)

Липиды	ЛПНП				ЛПВП (ЛПВП <sub>2</sub> + ЛПВП <sub>3</sub> )			
	Осетр		Судак		Осетр		Судак	
	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂
Общие липиды	230.0±12.1	190.1±11.5	304.6±9.1	198.5±10.0	1234.1±26.1	1038.1±24.3	746.1±16.0	706.3±15.3
Фосфо-липиды	95.7±8.9	73.6±10.5	82.3±7.5	57.7±6.4	475.0±10.5	392.7±19.0	291.6±15.0	275.0±12.8
Фосфатидилхолин	76.0±8.0	51.0±6.0	48.1±5.3	35.3±3.5	365.0±8.7	313.0±7.8	248.0±13.7	198.0±10.8
Триглицериды	106.7±8.5	82.0±9.5	191.8±11.0	84.0±9.0	531.1±14.6	449.0±15.1	270.7±14.5	240.0±9.5
Холестерин	4.6±0.7	4.6±0.5	11.5±0.9	15.0±1.0	37.4±4.3	40.1±3.2	66.0±4.1	120.4±6.4
Эфиры холестерина	23.0±2.8	28.0±2.7	19.0±1.2	30.4±1.4	191.0±9.4	156.0±7.2	117.3±6.5	70.0±3.8
Суммарный холестерин	27.6	32.6	30.5	45.4	228.4	196.1	183.3	190.4

Установлено (Babin, Vere, 1989) что ЛП рыб кроме тех функций, которые присущи животным и человеку, осуществляют транспорт липидов в гонады, где формируются половые продукты. Особенно высокая нагрузка лежит на ЛП самок в период формирования икры. В этом процессе принимают участие обе группы ЛП, но главную роль выполняют ЛПВП, которые намного богаче ФЛ, ТГ и ЭХС, чем ЛПНП. Согласно литературным данным (Wallaert, Babin, 1994), для формирования икры в процессе оогенеза требуется гораздо больше энергетических и пластических веществ, чем при сперматогенезе. Кроме того, в ЛП как самок, так и самцов осетра уровень липидов, особенно ЛПВП, намного превышает таковой у судака. Для развития личинок из икры и формирования их во взрослую особь осетрам требуется значительно больше энергетических и пластических веществ, чем судаку в связи с их более крупными размерами. Несмотря на указанные различия в содержании липидов в ЛП осетра и судака, существует и общая закономерность – у рыб обоих видов ЛПВП являются доминирующей фракцией.

Определены изменения липидного состава ЛП сыворотки крови рыб от возраста особей. В качестве примера приведены данные по липидному составу ЛП самок форели в возрасте 2 и 3 лет (табл. 4). Показано, что во фракции ЛПВП общее количество всех липидных компонентов, включая ФЛ, а в них ФХ, ТГ, ХС и ЭХС, в среднем в 1.5 раза выше у трехлеток, по сравнению с двухлетками. Поднятие уровня липидов, особенно ФЛ, в ЛПВП трехлеток является необходимым условием для подготовки самок к нересту. Это связано с тем, что в формирующуюся икру должны поступать все липидные компоненты, но особенно ФЛ и, в частности ФХ, который участвует в формировании вителлогена – липофосфогликопротеинового комплекса, играющего основную роль в формировании и развитии яиц форели (Babin, Vere, 1989). Таким образом, только к трехлетнему возрасту у самок достигается такой уровень липидов в формирующейся икре, который позволяет иметь полноценную личинку и развивающуюся из них особь.

Таблица 4

## Липидный состав ЛП СК 2- и 3-летних самок форели на II стадии зрелости гонад, (мг/дл)

Липиды	двухлетки		трехлетки	
	ЛПНП	ЛПВП	ЛПНП	ЛПВП
Общие липиды	248.5±0.8	1496.1±15.2	274.2±1.2	220.0±20.5
Фосфолипиды	124.3±0.8	983.4±11.2	140.3±0.6	1414.0±14.1
Фосфатидилхолин	103.7±0.7	802.0±4.3	1120.0±0.8	1232.0±12.1
Триглицериды	63.4±0.5	244.7±1.5	75.0±0.5	433.8±2.3
Холестерин	17.9±0.2	73.8±0.7	18.6±0.3	114.6±0.9
Эфиры холестерина	42.9±0.3	189.6±0.9	40.1±0.4	237.1±1.3
Суммарный холестерин	60.8	263.4	58.7	351.7

Несмотря на возрастные различия в содержании липидов в ЛП форели, существует и закономерность – значительное преобладание фракции ЛПВП, по сравнению с ЛПНП. Аналогичные результаты по изменению содержания липидов в ЛП в зависимости от возраста особей и сезона года получены на форели, которые подтверждают преобладание липидов в ЛПВП (до 2500 мг/дл) в процессе оогенеза и овуляции, по сравнению с ЛПНП (Wallaert, Babin, 1994).

На липидный состав ЛП рыб оказывают значительное влияние и условия, в которых они обитают. В качестве примера приведены (табл. 5) результаты по содержанию общих липидов и ФХ в ЛП сыворотки крови форели и сига. Оба вида, лососевые и сиговые, очень близки в эволюционном плане. Существует точка зрения, что сиговые и лососевые входят в одно семейство лососевых и являются двумя подсемействами: собственно лососевые и сиговые (Берг, 1948). Радужная форель – объект промышленного рыбоводства, выращиваемый в заводских условиях при наличии установленного постоянного режима питания в виде стандартного гранулированного корма, содержащего большое количество липидных питательных веществ, и ущемления естественной двигательной активности. Сиг – представитель природной ихтиофауны крупного водоема, неподверженного на данный момент антропогенному воздействию, имеет естественный режим питания, небогатого липидными компонентами, и двигательной активности (Васильева и др., 2004).

Таблица 5

**Липидный состав липопротеидов сыворотки крови форели и сига, (мг/дл)**

Липиды	ЛПНП		ЛПВП	
	Форель	Сиг	Форель	Сиг
Общие липиды	190.0±5.0	133.9±5.2	1081.0±11.2	941.3±9.5
Фосфолипиды	90.4±3.5	62.9±2.7	667.0±8.0	623.3±7.8
Фосфатидилхолин	73.0±2.4	36.1±0.6	528.2±7.7	409.8±5.4
Триглицериды	62.3±1.6	55.4±1.3	196.7±7.6	148.7±4.5
Холестерин	11.8±0.4	7.1±0.3	71.5±2.4	61.7±1.8
Эфиры холестерина	25.5±0.5	11.5±0.4	146.1±2.5	96.1±2.4
Суммарный холестерин	37.3	18.6	217.6	157.8

Научный интерес к данной теме связан с развитием рыбоводства, основным объектом которого на территории Карелии является радужная форель *Salmo gairdneri*, завезенная в Европу в конце XIX века из Калифорнии. В настоящее время форелеводство в Карелии стало самостоятельной отраслью с объёмом производства товарной продукции свыше 7000 тонн в год, или 70–75% производства товарной форели в России (Смирнов, 2008)

Несмотря на близкие эволюционные, возрастные и сезонные параметры, анализ результатов исследования липидов ЛП сыворотки крови форели и сига показал, что у форели как в ЛПНП, так и в ЛПВП содержание общих липидов, а в них ФЛ, ТГ и ХС, выше, чем у сига. У форели уровень ФХ в ЛПНП в 2 раза выше, чем у сига, в ЛПВП – в 1.3 раза. Таким образом, достоверное превышение концентраций всех липидных компонентов в ЛП сыворотки крови форели, по сравнению с сигом, в данном случае можно считать следствием изменения естественных условий среды обитания результатом которого является нарушение липидного обмена, в первую очередь, в результате неправильного питания, что является фактором риска для возникновения патологий, связанных с изменением липидного статуса организма.

### Выводы

Мониторинг биоресурсов водоемов, в том числе и рыбохозяйственный, должен предусматривать последствия антропогенного влияния на объекты ихтиофауны, накладывающиеся на естественные особенности их организма: филогенетические и физиологические. Охрана водных биоресурсов, в частности ихтиофауны, направленная на сохранение биоразнообразия и создание условий для их использования и воспроизводства, должна основываться на комплексном изучении организмов, включая клеточный уровень и биохимические основы их существования.

### Литература

- Берг Л.С., 1948. Рыбы пресноводных вод СССР и сопредельных стран. Москва – Ленинград: РАН. Ч. 1. 466 с.
- Васильева О.Б., Лизенко Е.И., Ретеранд Т.И., Юровицкий Ю.Г., Сидоров В.С., 2004. Биохимические особенности липидного состава липопротеидов у рыб разной экологии: форели *Salmo irideus* L. и сига *Coregonus lavaretus* L. // Известия РАН. Серия биологическая. № 2. С. 146 –149.

Лизенко Е.И., Сидоров В.С., Лукьяненко В.И., Регеранд Т.И., Гурьянова С.Д., Васильева О.Б., Такшеев С.А., 1995. Общая характеристика липидного состава липопротеидов сыворотки крови осетровых (*acipenseridae*) // Вопросы ихтиологии. Т. 35. № 34. С. 553–557.

Лизенко Е.И., Сидоров В.С., Регеранд Т.И., Лукьяненко В.И., Гурьянова С.Д., Васильева О.Б., 1998. Сравнительная характеристика липидных компонентов липопротеидов сыворотки крови некоторых хрящевых и костистых рыб // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. Т. 34. № 6. С. 641–647.

Лизенко Е.И., Регеранд Т.И., Лизенко М.В., Бахирев А.М., Петровский В.И., Васильева О.Б., 2004. Сравнительное исследование уровня структурных липидов в сыворотке и липопротеидах крови человека и некоторых животных // Вопр. биол., мед. и фарм. химии. №1. С. 32–37.

Лозовик П.А., Куликова Т.П., Мартынова Н.Н., 2003. Мониторинг водных объектов Республики Карелия в 1992–2000 гг. // Гидроэкологические проблемы Карелии и использование водных ресурсов. Петрозаводск: КарНЦ РАН. С. 135–144.

Регеранд Т.И., Лизенко Е.И., Петровский В.И., Сидоров В.С., 1990. Выделение липопротеидов сыворотки крови методом осаждения и определение их липидного состава // Лаб. Дело. № 4. С. 48–52.

Смирнов Ю.А., 2008. Экологические проблемы форелеводства и способы их решения // Водная среда: комплексный подход к изучению, охране и использованию. Петрозаводск 2008. С. 43–49.

Babin P.K. J., Vere J-M., 1989. Plasma lipoproteins in fish // J. Lipid res. V. 30. P. 467–491

Black D., Skinner E.K., 1986. Feature of the lipid transport system of fish as demonstrated by studies on starvation on rainbow trout // J. comp. Physiol. B. V. 150. P. 492–502.

Berg G., Berg J., 1992. Metabolism of high density lipoproteins in rainbow trout // Biochem. et Biophys. Acta. V. 1125. P. 8–12.

Gilbert L.I., Chino L.I., 1974. Transport of lipids in insects // J. of Lipid Res. V. 15. P. 439–455.

Nelson G.S., Shore V.G., 1974. Characterization of the serum high density lipoproteins and apolipoproteins of pink salmon // J. Biol. Chem. V. 249. P. 530–543.

Wallacrt Ch., Babin P.K.J., 1994. Age-related, sex-related and seasonal changes of plasma lipoprotein concentration in trout // J. of Lipid Res. V. 35. P. 1619–1633.

## THE ROLE OF DIFFERENT FACTORS IN THE FORMATION OF LIPID CONTENT IN FISH LIPOPROTEINS

**T.I. Regerand<sup>1</sup>, M.V. Lizenko<sup>2</sup>, E.I. Lizenko<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Northern Water Problems Institute of Karelian Research Center RAS, Petrozavodsk, Russia

<sup>2</sup>Sub-faculty of therapy at the medical department of the  
Petrozavodsk State University, Petrozavodsk

<sup>3</sup>Institute of Biology of Karelian Research Center RAS, Petrozavodsk  
e-mail: regerand@nwpi.krc.karelia.ru

The represents of ichthyofauna are one of the main components of the biological resources of water environment as of the natural biological diversity and the valuable food substance for the population points of view. The reproduction of the biological resources, in that number the artificial once, in the variable water environment is actual and the insight of the water inhabitants existence principles up to the cellular level is important.

The research was aimed to analyze the influence of the different factors on the formation of lipid content in fish lipoproteins (LP) The LP in fish blood serum, as in other vertebrates, are responsible for the lipid transport in the organism. According to the functions LP are divided to the low (LDL) and high (HDL) density LP. The balance of lipids in LP and the balance of LP in blood have the critical meaning as indicators of normal and pathological states in the organism.

The got results were analyzed in the phylogenetic, ontogenetic, physiologic and ecological directions. The conclusion was made that monitoring of the biological resources in water environment have to take into account the anthropogenic influence on the ichthyofauna objects which are imposed upon the natural characteristics of their organisms. The protection of the biological resources in water environment and ichthyofauna, in that number with the goals of their use and reproduction, have to be based on the complex investigations including cellular level and biochemical mechanisms.

## ВЛИЯНИЕ ТИПОЛОГИИ ОЗЕР НА ФАУНУ ПАЗАРИТОВ РЫБ

Е.А. Румянцев

Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск, Россия  
e-mail: rumyantseva@mail.ru

Типология озер является отражением определенных этапов их естественного развития. Озерные экосистемы являются той конкретной средой, в которой протекает процесс эволюции пресноводных животных, в том числе паразитов рыб. Под воздействием различных физико-географических факторов происходят существенные изменения этих экосистем. Примером таких изменений могут служить континентальные водоемы Балтийского щита (Фенноскандия). Они имеют возраст порядка 10–15 тысяч лет, т. е. возникли вслед за отступанием ледника. Общие тенденции изменений жизни этих озер известны давно. Первоначально озеро является олиготрофным водоемом, т. е. оно сравнительно глубоко, богато кислородом, имеет прозрачную воду, выраженный гипolimнион и низкую продуктивность. Постепенно происходит заполнение котловины его за счет отложений наносов, животных и растительных осадков, и озеро превращается в эвтрофированный тип, менее разнообразный, но более высокопродуктивный. Однако при этом далеко не все детали происходящей смены гидробиоценозов выяснены однозначно. В нашем исследовании используется известная биологическая классификация озер С.В. Герда (1949, 1965) с изменениями, внесенными позднее (Румянцев, 1996, 2007) в свете паразитологических данных.

Основное ядро фауны паразитов рыб первичных олиготрофных озер составляли виды, специфичные преимущественно для лососевидных рыб. Даже сейчас в некоторых озерах севера отсутствуют виды паразитов бореального равнинного комплекса, специфичные для карповых рыб, конечно, за исключением, гольяна, относящегося к другому – бореальному предгорному комплексу. Удельный вес последнего в этих водоемах являлся самым высоким и не достигался ни в одном из озер других типов. Широкое распространение имели многие реофильные виды паразитов, такие как *Chloromyxum thymalli*, *Myxobolus cybinae*, *Gyrodactylus thymalli*, *G. limneus*, *G. magnificus*, *G. aphyae*, *Tetraonchus borealis*, *Dactylogyrus borealis*, *Cystidicoloides tenuissima*. В составе арктического пресноводного фаунистического комплекса выделялись виды *Henneguya zschokkei*, *Chloromyxum dubium*, *Ch. mucronatum*, *Discocotyle sagittata*, *Gyrodactylus salvelini*, *G. lotae*, *G. lavareti*, *Salmincola*, *Cyathocephalus truncatus*, *Eubothrium salvelini*, *Proteocephalus longicollis*, *Diphyllbothrium dendriticum*, *Triaenophorus crassus*, *Ichthyocotylurus erraticus*, *Echinorhynchus salmonis*, *E. borealis*, *Comephoronema oschmarini*, *Haplonema hamulatum*, *Cystobranchnus mammillatus*. Эти виды, без сомнения, составляли основу фауны паразитов рыб первичных олиготрофных озер.

Ортокладиновые озера, будучи преимущественно субарктическими водоемами, менее других озер уклонились от своего исходного олиготрофного состояния. Фауна паразитов рыб в них является сравнительно молодой и небогатой по числу видов (около 100), что уступает средней цифре, свойственной водоемам олиготрофного типа. Обеднение затрагивает многих инфузорий, миксоспоридий, моногеней. Озера отличаются самым высоким удельным весом видов паразитов бореального предгорного и арктического пресноводного фаунистических комплексов (до 50%). Максимальное развитие имеют виды паразитов, приуроченные к лососевидным рыбам. Для ортокладиновых озер очень характерно присутствие рачков рода *Salmincola* и пиявки *Acanthobdella peledina*. Роль бореального равнинного комплекса снижена до минимума. Виды паразитов, специфичные для карповых рыб, практически выпадают. Присутствуют только немногие эвритермные представители палеарктической группы. Количественные показатели развития большинства из них невысокие. Полностью отсутствуют элементы понто-каспийской и амфибореальной экологических групп.

Гаммаракантовые озера олиготрофного типа, а именно, Онежское и Ладожское, характеризуются самым большим разнообразием фауны паразитов (до 400 видов). Основу ее составляют три хорошо развитых фаунистических комплекса – бореальный предгорный, арктический пресноводный и бореальный равнинный, включающий в себя палеарктическую, понто-каспийскую и амфибореальную экологические группировки. Гетерогенный характер фауны этих озер усилен также за счет присутствия видов некоторых других комплексов – солоноватоводного, атлантического и индийского равнинного. В паразитофауне лососевых рыб очень характерно наличие таких видов паразитов как *Myxidium salvelini*, *Gyrodactylus sp. (Salvelinus)*, *Tetraonchus borealis*, *Salmincola salmoneus*,

*S. thymalli*, *S. edwardsii*. Большое разнообразие видов несомненно обусловлено крупными размерами озер и наличием в них многих экологических ниш. В гаммаракантовые озера проникли многие представители бореального равнинного и других комплексов и освоили в них преимущественно отчлененные плесы и заливы.

Эволюция понтопорейных озер олиготрофного типа обеспечивает необходимые условия для высокой численности тех паразитов (*Echinorhynchus salmonis*, *Cystidicola farionis*), жизненный цикл которых протекает при участии реликтовых ракообразных. Нарастание эвтрофикации и связанных с ним экологических изменений приводит к тому, что продуктивность реликтовых раков снижается вплоть до полного их исчезновения. Сиговые рыбы выпадают или, сохраняясь некоторое время, теряют свою численность. Исчезают виды паразитов, связанные с этими хозяевами – реликтовыми раками и сиговыми рыбами.

В олиготрофных дистрофирующихся озерах (Куйто, Выгозеро, Янисъярви и др.) преимущественное развитие получают процессы, связанные с дистрофикацией. Происходит, в первую очередь, обеднение представителей бореального предгорного комплекса. Выпадают такие виды как *Tetraonchus borealis*, *Dactylogyrus borealis*, *Gyrodactylus thymalli*, *Cystidicoloides tenuissima*, *Salmincola thymalli*. Обеднение арктической пресноводной фауны менее выражено и касается главным образом не видового состава паразитов, а количественных показателей зараженности ими. Больше всего ограничивается развитие видов паразитов, промежуточными хозяевами которых являются реликтовые раки (*Cyathocephalus truncatus*, *Echinorhynchus salmonis*, *Cystidicola farionis*). Сокращается также разнообразие и численность паразитов, связанных с зообентосом, так как развитие последнего лимитируется железорудными отложениями на дне этих водоемов. Становятся редкими и сходят на нет *Cucullanus truttae*, *Comephoronema oschmarini*, *Rhipidocotyle campanula* и др. В то же время паразиты, жизненный цикл которых протекает при участии зоопланктона, как правило, отличаются высокой численностью (цестоды родов *Proteocephalus*, *Triaenophorus*, *Diphyllbothrium*). При общем обеднении зоопланктона в этих озерах больший удельный вес в питании рыб планктофагов приобретают копеподы. В результате возникают благоприятные возможности для заражения этими паразитами. Представители солоноватоводной группы отсутствуют.

Озера олиготрофного типа характеризуются самым большим разнообразием фаунистических комплексов паразитов. Переход их в эвтрофированный тип сопровождается уменьшением видового разнообразия паразитов. В первую очередь это касается бореального предгорного и арктического пресноводного фаунистических комплексов. Первый практически исчезает полностью, а второй теряет многих своих представителей, в частности, тех паразитов, жизненный цикл которых протекает при участии реликтовых ракообразных (*Cyathocephalus truncatus*, *Cystidicola farionis*, *Echinorhynchus salmonis*, *E. borealis*). Отсутствие их – одна из самых характерных особенностей озер эвтрофированного типа. В них выпадают также многие виды паразитов с прямым циклом развития, например, рачки рода *Salmincola*. Отсутствуют представители солоноватоводного комплекса. При этом сильно возрастает роль одного фаунистического комплекса – бореального равнинного. Наряду с ростом численности некоторых видов и групп (инфузории *Apiosoma* и *Trichodina*, активно инвазирующие виды трематод *Diplostomum*, рачки *Ergasilus sieboldi* и др.), имеет место и обратная картина. В озерах с богатым зоопланктоном зараженность рыб паразитами, связанными с планктонными рачками (цестоды рода *Proteocephalus* и др.), оказывается заметно меньше, чем в водоемах с более обедненным зоопланктоном (парадокс Шульмана).

Главным отличием мезотрофных озер как эвтрофированных водоемов от олиготрофных можно считать крайнее обеднение фауны бореального предгорного комплекса. Даже в таких крупных озерах как Сямозеро условия обитания оказываются неблагоприятными для развития видов этого комплекса. Арктический пресноводный комплекс также теряет свои виды. Нет рачков *Salmincola*, скребней *Echinorhynchus salmonis* и целого ряда других видов. В наиболее эвтрофированных озерах (Святозеро, Крошнозеро) арктический пресноводный комплекс еще больше беднеет. Так, исчезают *Henneguya zschokkei* и *Discocotyle sagittata*.

В дистрофированных озерах все еще сохраняются единичные представители арктического пресноводного комплекса. В собственно дистрофных озерах (полигуменные ламбы) происходит резкое сокращение видового разнообразия фауны. Из рыб нередко остается один окунь. Общее число видов паразитов составляет порядка 10. Падает их численность. Все виды являются представите-

лями только одного бореального равнинного фаунистического комплекса. Из паразитов со сложным циклом остаются *Bunodera luciopercae*, *Diplostomum spathaceum*, *Acanthocephalus lucii*, *Triaenophorus nodulosus*, *Camallanus lacustris*, промежуточными хозяевами которых служат брюхоногие моллюски, водяные ослики и циклопы.

Специфические условия ацидотрофных (ацидных) озер приводят к тому, что в паразитофауне рыб остается около 5 видов. Выпадают даже такие банальные представители как трематоды рода *Diplostomum*.

Более подробные сведения о влиянии типологии озер на паразитов рыб приводятся нами в ряде статей и монографии (Румянцев, 1996).

#### Литература

Герд С. В., 1949. Биоценозы бентоса больших озер Карелии // Тр. Карел.-Финск. Гос. ун-та. Петрозаводск. Ч. 4. С. 1–198.

Герд С. В., 1965. Биотопы и биомониторинг озер Карелии // Фауна озер Карелии. М.–Л. С. 42–47.

Румянцев Е. А., 1996. Эволюция фауны паразитов рыб в озерах. Петрозаводск. 188 с.

Румянцев Е. А., 2007. Паразиты рыб в озерах Европейского Севера. Петрозаводск. 250 с.

### ПАЗИТОФАУНА РЯПУШКИ ОЗЕР ОЛИГОТРОФНОГО ТИПА

Е.А. Румянцев, О.В. Мамонтова, С.А. Шалина

Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск, Россия

e-mail: rumyantsevea@mail.ru, lulia@onego.ru

Ряпушка – *Coregonus albula* (L.) – одна из широко распространенных пресноводных рыб Европейского Севера. Она достаточно подробно исследована в озерах различного типа, включая крупнейшие олиготрофные водоемы – Ладожское и Онежское (Пермяков, Румянцев, 1984; Румянцев и др., 1984; Румянцев, Пермяков, 1994; Румянцев, 2007). Именно в этих озерах у нее наблюдается наибольшее разнообразие паразитов. В паразитофауне ее выделяются специфичные виды, образующие арктический пресноводный комплекс. Здесь условия существования для северных форм – как хозяев (сиговые и лососевые рыбы), так и их специфичных паразитов являются оптимальными. Онежское и Ладожское озера находятся близко к границе Циркумполярной подобласти. Эти озера относятся к числу самых крупных водоемов олиготрофного типа с разнообразной гидрофауной, в которых обеспечивается также заражение многими широкоспецифичными видами паразитов, которых нет в бассейне Белого моря.

Картина зараженности ряпушки олиготрофных озер характеризует ее как планктофага. У нее широко представлены в видовом и количественном отношении (экстенсивность и интенсивность) те группы паразитов (цестоды *Proteocephalus longicollis*, *Triaenophorus crassus*, *Diphyllbothrium ditremum*), заражение которыми происходит при поедании их промежуточных хозяев – веслоногих ракообразных. При общей слабой зараженности миксоспоридиями встречаются лишь те виды (*Henneguya zschokkei*), споры которых имеют приспособления к парению в воде.

В озерах Сямозерской группы, например, в Сямозере (Шульман, 1962), равноценных по географическому положению с Онежским и Ладожским, но отличающихся по своей типологии (эвтрофированный тип), паразитофауна ряпушки беднее. Из ее состава выпадают, в частности, специфичные виды арктического пресноводного комплекса *Cystidicola farionis* и *Echinorhynchus salmonis* в связи с отсутствием в этих озерах их промежуточных хозяев – реликтовых ракообразных, а также рачки рода *Salmincola*. В целом условия существования здесь для представителей арктического пресноводного комплекса – лососевых и сиговых рыб и их специфичных паразитов – не являются оптимальными.

Ряпушка Ладожского озера имеет 26 видов паразитов, Онежского – 28 (табл.). Наиболее широкое распространение у нее получают инфузория *Tripartiella copiosa*, моногенея *Discocotyle sagittata*, цестода *Proteocephalus longicollis*, трематоды рода *Diplostomum* и *Ichthyocotylurus erraticus*. В разных районах этих крупных водоемов она характеризуется определенными различиями паразитофауны.

### Паразитофауна ряпушки

Паразит	Ладожское озеро	Онежское озеро (Пермяков, Румянцев, 1984)
<i>Myxidium salvelini</i>	7(+)	-
<i>Leptotheca schulmani</i>	-	7(+)
<i>Chloromyxum coregoni</i>	27(+)	13(+)
<i>Myxobolus evdokimovae</i>	13(+)	-
<i>Henneguya zschokkei</i>	7(+)	7(+)
<i>Hemiophrys branchiarum</i>	-	33(+)
<i>Capriniana piscium</i>	7(0,1)	80(0,5)
<i>Apiosoma carpelli</i>	-	27(0,1)
<i>A. piscicolum</i>	7(0,1)	7(0,05)
<i>Trichodina nigra</i>	7(0,2)	40(0,3)
<i>T. pediculus</i>	-	26(0,2)
<i>Tripartiella copiosa</i>	40(0,3) 0,1–1,0	53(1,0)
<i>Discocotyle sagittata</i>	40(2,9) 2–24	7(0,1)
<i>Triaenophorus crassus</i>	27(0,3)	27(0,5)1–3
<i>Eubothrium salvelini</i>	7(0,1)	13(0,3)1–3
<i>Diphyllbothrium ditremum</i>	13(0,1)	7(0,1)
<i>Proteocephalus longicollis</i>	80(2,4) 1–8	67(4,0)1–15
<i>Rhipidocotyle campanula</i>	-	13(0,1)
<i>Phyllodistomum nostomum</i>	13(0,7) 3–8	53(1,6)1–8
<i>Diplostomum gasterostei</i>	80(4,0) 1–30	+
<i>D. spathaceum</i>	40(0,5) 1–2	100(14,0)1–53
<i>D. helveticum</i>	7(0,1)	+
<i>Tylodelphys clavata</i>	13(0,1)	+
<i>T. podicipina</i>	7(0,1)	-
<i>Ichthyocotylurus erraticus</i>	60(1,1) 1–4	13(0,3)
<i>Cystidicola farionis</i>	20(0,3) 1–4	+
<i>Camallanus lacustris</i>	7(0,1)1	-
<i>Raphidascaris acus</i>	13(1,7) 1–24	13(0,1)
<i>Echinorhynchus salmonis</i>	13(0,1)1–1	7(0,1)
<i>Ergasilus sieboldi</i>	20(0,3) 1–3	20(0,2)
<i>Caligus lacustris</i>	47(1,3) 1–6	7(0,1)
<i>Argulus coregoni</i>	-	13(0,1)
Всего видов	26	28

В Ладожском озере в районе Сортавалы наблюдается более высокая зараженность ряпушки инфузориями родов *Apiosoma* и *Trichodina* и трематодами *Diplostomum*. Зато в районе Усть-Обжанки чаще встречаются паразитические ракообразные *Ergasilus sieboldi* и *Caligus lacustris*. В Онежском озере также проявляются локальные различия в зараженности ряпушки паразитами. В районе Пяльмы она сильнее заражена миксоспоридиями и цестодой *Proteocephalus longicollis*. В районе Шалы характерна более высокая зараженность инфузориями и трематодами *Diplostomum*.

Если сравнивать паразитофауну ладожской ряпушки с таковой Онежского озера, то можно отметить наиболее широкое распространение в последнем инфузории *Capriniana piscium*, цестоды *Proteocephalus longicollis* и трематод *Diplostomum* и *Phyllodistomum conostomum*. В то же время моногеней *Discocotyle sagittata* не менее редкий вид в Ладожском озере. Паразитофауна ряпушки в обоих крупнейших озерах имеет исключительно большое сходство. Для онежской ряпушки, по сравнению с таковой Пяозера (Румянцев, Пермяков, 1994), характерна более высокая зараженность паразитами, связанными с зоопланктоном (*P. longicollis*, *Triaenophorus crassus*, *Diphyllbothrium ditremum*). В то же время у пязерской ряпушки чаще встречались те виды, промежуточными хозяевами которых являются реликтовые ракообразные.

### Литература

- Пермяков Е. В., Румянцев Е.А., 1984. Паразитофауна лососевых (*Salmonidae*) и сиговых (*Coregonidae*) рыб Онежского озера // Сб. научн. Тр. ГосНИОРХ. Вып. 216. С. 112–116.
- Румянцев Е. А., Пермяков Е. В. 1994. Паразиты рыб Пяозера // Экологическая паразитология. Петрозаводск. С. 53–78.



- Румянцев Е. А., Пермяков Е. В., Алексеева Е. Л., 1984. Паразитофауна рыб Онежского озера и ее многолетние изменения // Сб. научн. Тр. ГосНИОРХ. Вып. 216. С. 117–133.
- Румянцев Е. А., 2007. Паразиты рыб в озерах Европейского Севера. Петрозаводск. 2007. 250 с.
- Шульман С. С., 1962. Паразитофауна рыб Сямозерской группы озер // Тр. Сямозерск. Комплексн. Экспед. Петрозаводск. Т. 2. С. 173–244.

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДИНАМИКИ СООТНОШЕНИЯ ВЕЛИЧИН МАССЫ И РАЗМЕРОВ ТЕЛА ОКУНЯ**

**Л.П. Рыжков**

Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск, Россия  
e-mail: rlp@petrsu.ru

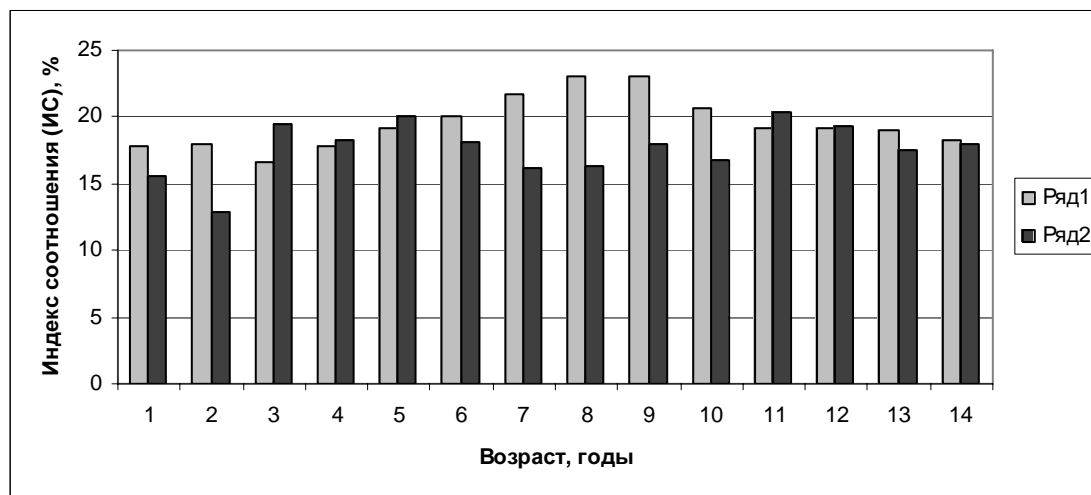
В настоящее время, когда аквакультура становится приоритетным направлением рыбохозяйственной отрасли, оценка продукционных возможностей рыб в различных условиях существования, наряду с чисто научной проблемой, приобретает практическое значение. Одним из путей такой оценки может быть получение количественных материалов о росте рыб, особенно о соотношении массы и длины тела. К сожалению, сведения о динамике такого соотношения у рыб весьма ограничены (Поляков, 1959; Смирнов с соавторами, 1972; Рыжков, 2007). Поэтому проблема динамики величин соотношения массы и длины тела у рыб остается не решенной, хотя значение ее при развитии рыбоводства переоценить практически не возможно. Известно, что не только разные виды рыб имеют различные продукционные возможности, но даже у одного вида эти возможности могут изменяться в зависимости от условий окружающей среды. В одних условиях у рыб более интенсивно может увеличиваться удлиненность тела, а в других, наоборот, его высота и ширина (масса). Знание же динамики соотношения этих показателей особенно важно при подборе объектов рыбоводства, времени и условий их выращивания, особенностей роста и определения продукционных возможностей. Однако разработке механизма такой оценки объектов рыбоводства и их продукционных возможностей в различных условиях существования до сих пор не уделяется должного внимания.

Л.П.Рыжковым (2007) было предложено оценку продукционных возможностей различных видов рыб определять по динамике показателей (индексов) соотношения между величиной массы тела и кубом его линейных размеров (ИС). Известно, что при отклонении от изометрии величина ИС будет изменяться. При интенсивном увеличении линейных размеров величина ИС будет уменьшаться, а если будет преобладать рост в высоту и ширину (накопление массы тела), то показатель ИС будет увеличиваться. Следовательно, зная динамику ИС у рыб можно судить об их продукционных возможностях и соответственно подбирать объекты рыбоводства и условия их выращивания.

В качестве объекта настоящего исследования был выбран окунь (*Perca fluviatilis* L), один из наиболее широко распространенных видов рыб. Всего было обследовано 2216 рыб, отловленных в различных водоемах Карелии. Для изучения динамики величин ИС между массой тела и ее линейными размерами ( $\text{мг/см}^3$ ) определялась масса тела рыб и измерялись их общая длина, максимальная высота и ширина. В исследовании окуней принимали участие сотрудники лаборатории, аспиранты и студенты. Огромная им благодарность за помощь.

Исследуя динамику ИС у окуней возрастной группы от 1 года до 15 лет из различных условий обитания было установлено, что на протяжении изучаемого периода онтогенеза величина ИС изменяется не равномерно. До полового созревания превалирует линейный рост рыб (ИС – 16,9), при дальнейшем развитии более интенсивно накапливается масса тела (ИС – 18,2). Средняя величина ИС для исследованной возрастной группы 17,4. Ранее было показано (Рыжков, 2007), что по величине ИС окунь существенно превышает судака (ИС – 14,3) и приближается к карповым (ИС леща – 19,7). Возможно, это обусловлено качественным составом пищи. Известно, что экологические формы окуня в возрасте 2–5 лет переходят на хищное питание, а другие на протяжении всей жизни питаются планктоном и бентосом (ред. Решетников, 2002; Ивантер, Рыжков, 2004). Однако нельзя исключить множество других факторов. Например, площадь и глубина водоемов, состояние кормовой базы и так далее. Поэтому представляло интерес исследовать динамику величин ИС у окуней из водоемов различной площади, глубины и с разными кормовыми возможностями (биомасса зоопланктона и бентоса).

Анализ собранных материалов по динамике показателей ИС у окуней из озер разной площади показал наличие ряда существенных различий в их величине (рис.). В «малых» озерах (площадь менее 1000 га) общая величина ИС за исследованный период онтогенеза была 20,2 и достоверно превышала аналогичный показатель у рыб из «больших» (площадь более 1000 га) водоемов (ИС – 17,6). Это значит, что в больших озерах окунь интенсивно растет в длину (линейный рост), а в малых водоемах – в ширину и высоту (рост массы тела). Удлиненное тело рыб из крупных водоемов способствует их подвижности, которая необходима для осуществления процессов жизнедеятельности, особенно при добыче пищи. Средняя масса тела окуней в возрасте 14 лет в малых озерах была 540 г, а в больших – 690 г (различия достоверны). Интересно, что ассимиляция пищи у окуней в озерах разной площади в основном была сходной (54,7 – 56,7 %), а энергетические траты достоверно различались (86 и 89 %).



Динамика показателя ИС окуня в водоемах различной площади

Наряду с общими различиями величин ИС у окуней из разных по площади водоемов выявлены изменения в соотношении массы тела с линейными размерами рыб на разных этапах их онтогенеза (рис. 1). Особенно четко это проявляется в динамике показателей ИС у рыб из разных по площади водоемов в первые два года. Величина ИС у окуней этого возраста из малых водоемов была 17,9, а из больших 14,2. Это значит, что в самом начале онтогенеза у рыб из малых озер более интенсивно накапливается масса тела, а у рыб из больших водоемов ускоренно возрастают линейные размеры. Биологическая целесообразность этого заключается в необходимости уже в самом начале онтогенеза окуням из малых озер быстрее выйти из-под пресса хищников. Ускоренный линейный рост рыб в крупных водоемах обеспечивает их высокую активность, необходимую для нормальной жизни в больших озерных акваториях. В возрасте 3 – 5 лет, когда осуществляется половое созревание, линейный и весовой рост окуней из водоемов неодинаковой площади практически не различаются. Величина ИС у рыб из малых озер равнялась 17,8, а из больших 18,3. У половозрелых рыб (6 – 10 лет) из водоемов различной акватории вновь появились различия в соотношении масса и длина тела. В малых озерах масса тела увеличивалась более интенсивно (ИС–21,7) по сравнению с рыбами из больших водоемов (ИС-19,3). При дальнейшем росте половозрелых рыб различия в показателях ИС были недостоверны (18,4 – 18,9). В малых водоемах величина ИС колебалась в пределах от 18,3 до 23,1, а в больших – от 16,1 до 20,3.

Если жизненный цикл окуней разделить на два периода – неполовозрелый и половозрелый, то можно отметить еще одну закономерность. У неполовозрелой группы рыб различия в скорости линейного роста выражены несколько меньше (ИС – 16,0 и 17,5), чем у половозрелой (ИС 18,0 и 20,7). По-видимому, это обусловлено сходством качественного состава пищи у неполовозрелых рыб из разных водоемов (планктон, бентос) по сравнению с половозрелыми (бентос, рыба).

Конечно, выявленные различия в динамике роста окуней из водоемов с разной по величине акваторией связаны и с другими факторами среды. Одним из таких факторов является глубина во-

доемов. Установлено, что независимо от акватории озер с увеличением их глубины уменьшается величина ИС, т. е. интенсивно возрастает удлинённость тела. Например, в малых озерах глубиной до 5 м величина ИС была 20,6, в больших – 19,0. При глубине озер от 5 до 10 м эти показатели были 17,7 и 17,8, т. е. были сходными. При глубине озер более 10 м величина ИС соответственно была 15,5 и 17,5, сократившись на 33 и 12 % от начального показателя. Из приведенных сведений следует, что с увеличением глубины озера у окуней усиливается линейный рост. Однако увеличение скорости линейного роста рыб в малых озерах не сопровождалось аналогичным изменением количества потребляемой пищи. Его величина практически сохранялась постоянной (793–753 ккал/год на каждую рыбу). В тоже время в больших озерах отмечено четкое сокращение количества потребляемой пищи с увеличением их глубины (от 1519 до 833 ккал/год на рыбу). При этом с увеличением глубины озер до 10 м отмечено сокращение величины ассимиляции потребленной пищи (от 54,6 до 49,7). В более глубоких озерах (более 10 м) показатель ассимиляции не изменяется (54,5).

Судя по приведенным материалам можно допустить, что динамика величин ИС у окуней, обитающих в водоемах различной глубины, обусловлена их продукционными возможностями. Величина же этих возможностей определяется не только условиями водной среды, но и общей биомассой пищевых объектов. Для оценки роли продукционных возможностей водоемов в динамике соотношения масса – длина тела специально исследовался линейный и весовой рост окуня при различной биомассе планктона и бентоса. Исследуемые рыбы отлавливались в озерах со средней биомассой планктона менее 1 г/м<sup>3</sup>, 1–2 г/м<sup>3</sup> и более 2 г/м<sup>3</sup> и со средней биомассой бентоса менее 10 кг/га, 10–50 кг/га и более 50 кг/га. При этом учитывались изменения в характере питания окуня на разных этапах онтогенеза (планктон – планктон, планктон – бентос, планктон – бентос и рыба).

Результаты исследования показали, что при увеличении биомассы планктона в малых водоемах у всех возрастных групп окуня преобладает накопление массы тела. С ростом биомассы планктона индекс ИС увеличивается от 17,6 до 18,8. Это обеспечивается нарастанием общего потребления пищи (С, ккал). При биомассе менее 1 г/м<sup>3</sup> величина С, ккал за исследуемый период равняется 8,8 тыс. ккал, а при биомассе более 2 г/м<sup>3</sup> она превышает 12 тыс. ккал. До половой зрелости, судя по величине ИС (15,7–16,0), пищевые ресурсы окуня в основном направляются на интенсификацию линейного роста. Потребление пищи в это время стабилизируется (326–355 ккал). Это может быть связано со сходным характером питания окуня (планктонное) и с биологической необходимостью увеличения линейных размеров рыб.

У окуня из больших озер как индексы ИС, так величина потребляемой пищи практически не изменяются. Величина ИС равна 15,1–15,5, а потребление пищи колеблется около 13 тыс. ккал. В этой ситуации следует учитывать не только размеры водоемов, но и характер питания (планктонно-бентосный) рыб. Интересно отметить, что средняя величина ассимиляции пищи (А, %) и ее использования на пластический обмен (Р, %), несмотря на изменение биомассы планктона, сохраняются постоянными. Величина А колеблется в пределах 52,4–53,3 %, а Р – от 11,4 до 12,7.

Увеличение биомассы бентоса однозначно способствует весовому росту окуня. Индекс ИС с увеличением биомассы донных организмов достоверно возрастает от 18,9 до 25,9. Особенно это хорошо прослеживается у половозрелых рыб. ИС возрастает от 19,3 до 28,7. У неполовозрелых рыб его величина достаточно стабильна (18,1–19,1). Однако в малых озерах нарастание массы тела рыб при увеличении кормовых возможностей донной фауны не сопровождается ростом потребления пищи. Наоборот, с увеличением биомассы бентоса общее потребление пищи окунем сокращается от 10,1 тыс. ккал до 6,7 тыс. ккал. При этом объем ассимиляции потребленной пищи практически не изменяется (А – 54,9–55,4 %), а использование пищи на пластический обмен даже снижается (от 11,5 до 9,4 %).

Отмеченные факты показывают, что существующая динамика величин ИС, потребления и использования пищи у окуней обусловлена характером их питания в малых водоемах, которые в основном определяются планктонным типом питания. Если сложить количество потребляемых окунем планктона и бентоса, то получается, что окунь, в основном потребляя планктон, при низкой биомассе кормовых объектов осваивает около 19 тыс. ккал пищи, а при высокой биомассе – более 20 тыс. ккал. Полученная разница, очевидно, и обеспечивает нарастание массы тела рыб при увеличении общей продуктивности водоемов.

В больших озерах с увеличением биомассы бентоса также наблюдается превалирование весового роста рыб. ИС возрастает от 16,8 до 19,6. Усиление весового роста при низкой биомассе кор-

мовых ресурсов обеспечивается планктоном, донной фауной и рыбой. Общее потребление пищи равняется 24,3 тыс. ккал. При увеличении биомассы пищевых объектов потребление пищи окуном возрастает до 29,8 тыс. ккал. Ассимиляция потребленной пищи колеблется в пределах 52–55 %, а ее использование на пластический обмен – 11,6–14,0 %

В заключение следует отметить, что выявленные на примере окуня закономерности о влиянии акватории и глубины водоемов и их кормовых возможностей на соотношение процессов роста рыб (ИС), потребление (С, ккал), ассимиляцию (А, ккал) и использование пищи на пластический обмен (Р, ккал) могут стать основой для дальнейшего развития аквакультуры и повышения ее экономической эффективности

#### Литература

- Атлас пресноводных рыб России. 2002. В 2 т. Т. 2. /ред. Решетников Ю.С. М.: Наука 253 с.  
Ивантер Д.Э., Рыжков Л.П. 2004. Рыбы. Мир животных. Петрозаводск.: ПетрГУ. 171 с.  
Поляков Г.Д. 1959. Взаимосвязь линейного роста, увеличения веса, накопления вещества и энергии в теле сеголетков карпа, выращенного в различных условиях //Биологические основы рыбного хозяйства. Томск. С. 23–35  
Рыжков Л.П. 2008. Динамика соотношения весовых и размерных показателей у различных видов рыб //Материалы Всероссийской конференции «Водные и наземные экосистемы: проблемы и исследований». «Водные экосистемы: перспективы, трофические уровни и проблемы поддержания биоразнообразия» Вологда, Педуниверситет, С. 357 – 359.  
Смирнов В.С., Божко А.М., Рыжков Л.П., Добринская Л.А. 1972. Применение метода морфофизиологических индикаторов в экологии рыб. Петрозаводск. Труды СевНИОРХ. Карелия Т.7. 168 С.

### ECOLOGICAL ASPECTS SPEAKERS CORRELATIONS OF THE VALUES OF THE MASS AND SIZES OF THE BODY OF THE PERCH

L.P. Ryzhkov

Petrozavodskiy state university, Petrozavodsk, Russia

e-mail: rlp@petrsu.ru

The Revealled dependency and is organized analysis speakers correlations of the values of the mass and sizes of the perches from водоемов different area and depths, biomass miscellaneous and number stern гидробионтов.

### НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ АДАПТАЦИИ ПРЕСНОВОДНОГО РАЧКА *DAPHNIA MAGNA* К СОЛЕНОСТИ

Л.П. Рыжков, Н.В. Артемьева, Т.В. Каменская

Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск, Россия

e-mail: rlp@petrsu.ru

Исследование пределов адаптации, динамики и продолжительности адаптационного процесса пресноводных организмов к повышенной солености среды необходимо для решения практических задач по изучению загрязнения эстуариев и литоральных зон морей, при прогнозировании последствий антропогенного влияния на солоноватоводную биоту и рыбохозяйственном нормировании (разработка ОБУВ и ПДК). Использование того или иного пресноводного организма как индикаторного (например, при токсикометрии) возможно только после установления пределов его устойчивости к солености и при условии полной предварительной адаптированности к солевому режиму испытаний.

Ветвистоусые ракообразные включены в схему эколого-рыбохозяйственного нормирования как ключевой тест-объект. Как в нашей стране, так и в международной практике наиболее часто используется *Daphnia magna* Straus. Сведения об устойчивости дафний к солености основаны большей частью на данных о выживаемости и не дают представления о функционировании рачков в условиях солевой нагрузки. Поэтому целью данной работы было установить для *Daphnia magna* пределы переносимости повышенной солености среды и определить уровень оптимальной солености для партеногенетических самок в серии генераций.

## Материалы и методы

Постановку опытов осуществляли в соответствии с общепринятыми в воднотоксикологических исследованиях методиками (Лесников, 1971; Строганов, 1971; Методические рекомендации..., 1998). Длительность острых опытов – 24–96 часов, хронические опыты проводились на 4 поколениях рачков: экспозиция с каждой генерацией – 20 суток, общая продолжительность исследования – 52 суток. Для создания солёности использовали искусственную профессиональную немецкую морскую соль (Mersals professional) с океаническим составом. Серию рабочих концентраций готовили путем добавления к воде в возрастающих количествах концентрированного раствора (20 %) морской соли. Контроль – маломинерализованная пресная вода. Температурный режим поддерживался на уровне 18–22 °С, содержание растворенного кислорода – 7–8 мг О<sub>2</sub>/л. Повторность опытов – трехкратная, кормление накопительной культурой *Scenedesmus quadricauda* – ежедневное. Регистрируемые параметры: выживаемость, темп эмбриогенеза, сроки вымета молоди, плодовитость (в расчете на самку), линейный рост, состояние пищеварительной системы, депонирование жира и др.

## Результаты и обсуждение

Влияние солёности на дафний изучали в диапазоне от 0 до 10 ‰ с интервалом в 1 ‰, что способствовало более или менее полному выявлению солёностной зависимости и достоверному описанию соответствующего процесса.

Резкое изменение резистентности дафний при переносе рачков из пресной маломинерализованной воды в солёную наблюдалось в диапазоне 7–8 ‰, что соответствует представлениям о существовании зоны критической солёности (Хлебович, 1974). Реагирование *Daphnia magna* на изменение солёности среды связано как с барьерной ролью солёности 5–8 ‰, так и с особенностями осморегуляции кладоцер (Бирштейн, 1949; Аладин, Плотников, 1985). При 8 ‰ и более ракообразные прекращали гиперосмотическую регуляцию и переходили от гомойосмотичности к пойкилоосмотичности, что обусловило их полную элиминацию в течение суток (LC<sub>50</sub>=8.02 ‰). Таким образом, нижняя граница летальной зоны солёности для дафний при кратковременном воздействии находится на уровне 8 ‰. Зависимость гибели рачков от величины солёности среды с высокой степенью значимости ( $p=0.0001$ ) описывалась уравнением линейной регрессии  $y = -234.1 + 35.0 x$ .

Для изучения повреждающего влияния на дафний солёности сублетального диапазона, а также для определения продолжительности адаптационного процесса была проведена серия хронических экспериментов на четырех последовательных генерациях, что позволило проследить отдаленные последствия влияния фактора на рачков.

Воздействие солёности в 7 ‰ и менее нарушало функционирование ракообразных при сохранении выживаемости во всех генерациях на уровне 90–100 %.

Реальная плодовитость достоверно угнеталась при 7 ‰ в исходном, первом, втором поколениях соответственно на 49, 43 и 37 % относительно контроля. Сила влияния фактора ( $\eta$ ) на плодовитость рачков исходной – второй генераций составляла 52–75 % и была достоверной. В третьей генерации тенденция к снижению реальной плодовитости сохранялась на границе достоверности.

Влияние солёности на линейный рост дафний имело колебательный характер. В исходном поколении длина кладоцер достоверно угнеталась при 7 ‰; при снижении солёности до 5, 3 и 2 ‰ наблюдалась стимуляция роста. У рачков первого поколения линейные размеры ингибировались в диапазоне концентраций от 4 до 7 ‰. Во второй генерации достоверных изменений длины самок относительно контроля выявлено не было. В дальнейшем, в третьем поколении, при 7 ‰ рост рачков вновь тормозился, а с уменьшением солёности до 2 ‰ и 3 ‰ отмечали стимуляцию линейных размеров.

Нарушение пищеварительной функции в виде изменения окраски кишечника отмечали только в исходном и первом поколениях дафний.

Негативное влияние солёности в наибольшей мере сказалось на эмбриогенезе дафний. Асинхронность зародышевого развития, а именно присутствие в выводковых камерах самок яиц на разных стадиях, а также одновременно яиц и молоди рачков, отмечалась у 15–50 % самок исходного поколения во всем градиенте солёности (1–7 ‰). В первом поколении сходные нарушения отмечали у 20–25 % рачков при 6–7 ‰, во второй генерации встречаемость описанных аномалий эмбриогенеза в диапазоне солёности от 3 до 7 ‰ составила 15–40 %. У самок третьего поколения отклонения регистрировались у единичных особей. Кроме того, у самок исходного, первого и второго поколений при 6–7 ‰ регулярно на протяжении всего репродуктивного периода отмечали абортывание недоразвитых яиц и мертворождение.

Нарушение эмбриогенеза в условиях воздействия повышенной солености, вероятно, связано с отсутствием у дафний эффективной защиты развивающихся зародышей от повреждающего действия солей. Согласно литературным данным *Daphnia magna* способна поддерживать общую осмотическую концентрацию эмбриональной жидкости под яйцевой оболочкой на относительно низком уровне, соответствующем солености 2.5‰. Полость выводковой сумки у дафний открыта, марсупиальная жидкость изоосмотична окружающей среде и эмбрионы развиваются в неблагоприятных осмотических условиях (Аладин, 1982; Аладин Н.В., Вальдивия Виллар Р.С., 1987).

Таким образом, у дафний на протяжении 4 последовательных генераций не происходило адаптации к верхней границе сублетальной солености (6–7‰). Замедление роста и снижение уровня воспроизводства в указанных средах обусловлено высокими энергетическими затратами на поддержание осмотического градиента. Нижней границей сублетального диапазона была соленость 3‰, близкая к солености внутренней среды рачков, а лимитирующим параметром, ограничивавшим расширение толерантности *Daphnia magna* к фактору солености, являлась успешность эмбриогенеза, что связано с морфо-физиологическими особенностями вида.

### Литература

- Аладин Н.В., 1982. Соленостные адаптации и осморегуляторные способности ветвистоусых ракообразных // Зоол. Журнал. Т. LXI, вып. 3. С. 341–351.
- Аладин Н.В., Плотников И.С., 1985. Микроскопическое исследование жидкости из максиллярной железы *Daphnia magna* Straus при акклимации к воде различной солености // Гидробиологический журнал. Т. 21, № 4. С. 62–65.
- Аладин Н.В., Вальдивия Виллар Р.С., 1987. Микроскопическое исследование жидкости из яиц и эмбрионов ветвистоусых ракообразных // Гидробиологический журнал. Т. 23, № 2. С. 93–97.
- Бирштейн Я.А., 1949. Некоторые проблемы происхождения и эволюции пресноводной фауны // Успехи современной биологии. Т. 28, вып. 1–3. С. 119–140.
- Лесников Л.А., 1971. Методика оценки влияния воды из природных водоемов на *Daphnia magna* S.// Методики биологических исследований по водной токсикологии. М.: Наука. С. 157–166.
- Методические рекомендации по установлению ПДК загрязняющих веществ для воды рыбохозяйственных водоемов, 1998. М.: ВНИРО. 145 с.
- Строганов Н.С., 1971 Методика определения токсичности водной среды // Методики биологических исследований по водной токсикологии. М.: Наука. С. 14–60.
- Хлебович В.В., 1974. Критическая соленость биологических процессов Л.: Наука. 236 с.

## ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДОЕМОВ СИСТЕМЫ РЕКИ ХИИТОЛАНЬОКИ

Л.П.Рыжков, А.В.Горохов, Л.П.Марченко, В.А.Раднаева, М.Г.Рябинкина

Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск, Россия

e-mail: rlp@petrsu.ru

Северное Приладожье по своим природно-климатическим условиям уникальный уголок не только нашей страны, но и всей Северной Европы. Важнейшим направлением развития региона может стать садковое рыбоводство, интенсивно развивающееся в последнее время. Кроме того, он очень привлекателен и для развития экологического туризма, спортивного рыболовства, водного туризма и др. [11]. Территория бассейна реки Хиитоланьоки – самой южной реки западной части Карельского побережья Ладожского озера, незначительно затронутая народнохозяйственной деятельностью, интересна в этом отношении. Для оценки современного состояния реки и водоемов ее бассейна, определения возможностей и путей их использования необходимо иметь достоверные научные материалы. Комплексное исследование озерно-речной системы реки Хиитоланьоки проводилось летом 1998 года по общепринятым методикам [1,4,5,6,7,8,10,12].

Река Хиитоланьоки (Асиланьоки, Кокколаньоки) берет свое начало в озере Симпелянъярви, первые 12 км она протекает по территории Финляндии, впадает в залив Расинселькя Ладожского озера. Ее длина составляет 60 км. Наиболее значительный приток – река Эняйоки длиной 29.5 км. Площадь водосбора реки составляет 1370 км<sup>2</sup>. Река имеет высокую естественную зарегулированность (коэффициент озерности бассейна достигает 13.5%) и незначительную заболоченность водосбора (4%) [2,9].

Воды реки мягкие, гидрокарбонатного класса группы кальция с достаточно высоким содержанием сульфатных ионов. Величина жесткости 0.76–0.97 мг-экв/л, преобладающий катион  $\text{Ca}^{2+}$  (10.0–11.8 мг/л), содержание  $\text{Mg}^{2+}$  2.7–4.6 мг/л. Доминирующий анион гидрокарбонатный (26.8–34.4 мг/л), сульфаты обнаруживались в количестве 12.5–18.4 мг/л, хлориды – 5.5–6.4 мг/л. Активная реакция речных вод – слабощелочная (величина pH 7.40–7.55). Насыщение воды кислородом – 87–98%. Содержание двуокиси углерода на разных участках реки колебалось в широких пределах: от 6.16 до 20.24 мг/л. Величины цветности вод (24–46 град.) и перманганатной окисляемости (6.3–9.8 мгО/л) невысокие. Значения БПК<sub>5</sub> в водах реки на всем протяжении низкие (0.81–1.63 мгО<sub>2</sub>/л). Из минеральных форм азота доминировал аммонийный (0.21–0.28 мгN/л), нитриты (0.004–0.013 мгN/л) и нитраты (0.02–0.06 мгN/л) обнаруживались в незначительных количествах. Содержание фосфора и железа заметно увеличивалось после впадения реки Эняйоки. Концентрации  $\text{P}_{\text{общ}}$  в верхней части реки 0.018–0.020 мгP/л, в нижнем течении 0.026–0.046 мгP/л, содержание железа соответственно 0.01–0.08 мгFe/л и 0.16–0.42 мгFe/л. По химическим параметрам река Хиитоланйоки – олигомезогузмозный водоем, по степени трофности – в верхнем течении олиготрофный (до впадения притока реки Эняйоки), а на остальном протяжении – мезотрофный. Анализ полученных результатов позволяет отнести воды реки к классу водоемов с хорошим качеством вод [3].

В составе фитопланктона реки отмечено 83 вида, принадлежащих к 6 типам водорослей. Диатомовые водоросли, создавая видовое разнообразие, были ведущей группой по количественным показателям развития фитопланктона (44–80% численности, 69–87% биомассы). Общая численность клеток колебалась от 194 до 550 тыс. кл./л, биомасса от 0.087 до 0.349 мг/л. Оценка качества вод с использованием индикаторных организмов свидетельствует об олиго-β-мезосапробных условиях в реке и позволяет отнести воды к группе переходных от чистых к умеренно загрязненным.

Зоопланктон реки представлен 26 видами. К числу массовых форм принадлежали *Thermocyclops oithonoides*, *Chydorus sphaericus*, *Kellicottia longispina*, *Synchaeta kitina*. Количественное развитие зоопланктона в реке низкое. Общая численность зоопланктона изменялась от 0.10 до 6.02 тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомасса от 0.0002 до 0.006 г/м<sup>3</sup>. Основу численности составляли коловратки (83%), биомассы – циклопиды (50%) и кладоцеры (34%). Полученные индексы сапробности с учетом индикаторных организмов зоопланктона характеризуют водные массы реки как β-мезосапробные или умеренно загрязненные.

В макрозообентосе обследованных участков реки выявлено 50 таксонов беспозвоночных, относящихся к 17 группам. Наиболее разнообразны хирономиды – 27 видов, среди них доминировали *Cricotopus gr. algarum*, *Trissocladius gr. potamophilus*, *Ablabesmyia gr. lentiginosa*. В период исследования численность донных животных на разных участках реки составляла 664–5760 экз./м<sup>2</sup>, биомасса 0.26–27.42 г/м<sup>2</sup>. В численном отношении преобладали хирономиды (70%). Биомассу бентоса формировали в основном личинки водных насекомых, главным образом, личинки ручейников, поденок и стрекоз (до 80%), на отдельных участках реки более половины биомассы составляли двусторчатые моллюски или олигохеты. Доминирующий комплекс организмов зообентоса и значения индекса Вудивисса 4–8 характеризуют водные массы реки как олиго-β-мезосапробные или слабозагрязненные.

Озеро Тюръянъярви расположено в верхней части бассейна реки Хиитоланйоки и почти посередине пересекается государственной границей России с Финляндией. Площадь водоема 10.88 км<sup>2</sup> (зеркала 10.14 км<sup>2</sup>), максимальная длина 6.4 км, ширина 3 км, преобладающие глубины 5–11 м, максимальная 18 м.

Воды озера мягкие, жесткость ниже 1.0 мг-экв/л, содержание  $\text{Ca}^{2+}$  10.0–12.8 мг/л,  $\text{Mg}^{2+}$  2.2–3.4 мг/л. Концентрации основных анионов колебались в узких пределах, гидрокарбонаты обнаруживались в количестве от 25.6 до 28.8 мг/л, сульфаты – от 10.6 до 12.5 мг/л, хлориды от 4.5 до 6.2 мг/л. Активная реакция поверхностных слоев вод озера слабощелочная (7.35–7.55), на глубинах более 7.0 м – слабокислая (6.90). Насыщение воды кислородом определялось глубиной слоя: и уменьшалось от 91–97 % на поверхности до 52 – 55 % у дна. Содержание двуокиси углерода в поверхностных горизонтах было практически однородным (3.52 – 3.70 мг/л), а в придонных значительно возрастало (16.72 мг/л). Величины цветности вод озера в основном составляли 63 – 71 градусов, перманганатной окисляемости – 10.8 – 13.4 мгО/л. Величины БПК<sub>5</sub> (0.82 до 1.46 мгО<sub>2</sub>/л) как по горизонтали, так и по вертикали изменялись в узких пределах. Среди минеральных форм азота преобладал аммонийный, содержание этих ионов в водах озера по всей толще было относительно стабильным (0.28 – 0.34 мгN/л). В поверхностных горизонтах нитриты присутствовали в количестве 0.003 мгN/л, а нитраты – 0.06 мгN/л. У дна содержание нитритов в воде увеличивалось до 0.025 мгN/л, нитратов – до 0.16 мгN/л. Количество общего фосфора в озерных водах колебалось в пределах от 0.016 до 0.026

на поверхности и от 0.026 до 0.034 мгР/л на глубине. Концентрации железа в поверхностных водах озера изменялись в очень широких пределах: 0.10 мгFe/л – 0.42 мгFe/л на поверхности до 0.55–0.71 мгFe/л у дна. Водоем по основной массе вод мезогумозный, мезотрофный. По типизации водных объектов озеро можно отнести к классу водоемов с хорошим качеством вод.

В фитопланктоне озера определено 84 вида. Ведущую роль играли диатомовые водоросли с массовыми видами *Asterionella formosa*, *Cyclotella comta*, *C. botanica*, *Rhizosolenia longiseta*. В количественном отношении диатомовые составляли 65% общей численности и 74% биомассы. Численность фитопланктона в среднем по озеру составляла 2004 тыс.кл./л, биомасса – 1.551 мг/л. По уровню вегетации фитопланктона озеро является  $\alpha$ -мезотрофным. По составу массовых индикаторных форм планктона воды озера характеризуются как олигосапробные или чистые.

Состав зоопланктона озера насчитывал 31 вид. Руководящими формами были *Thermocyclops oithonoides*, *Eudiaptomus gracilis*, *Daphnia cristata*, *Bosmina obtusirostris*, *Kellicottia longispina*. Средняя численность зоопланктона по озеру составила 107.2 тыс.экз./м<sup>3</sup>, биомасса – 0.88 г/м<sup>3</sup>. Доминировали как по численности (40%), так и по биомассе (58%) ветвистоусые ракообразные, главным образом за счет *Daphnia cristata*. По уровню развития зоопланктона озеро относится к группе водоемов олиготрофного типа. Водные массы озера, с учетом доминирующих индикаторных видов –  $\beta$ -мезосапробов, можно отнести к умеренно загрязненным.

В составе макрозообентоса отмечено около 20 таксонов беспозвоночных из 6 групп. Доминировали хирономиды – 14 видов, из них наиболее часто встречались *Cladotanytarsus mancus*, *Tanytarsus gr. gregarius*, *Stictochironomus gr. histrio*, *Procladius sp.*. В количественном отношении хирономиды составляли 69 % численности и 88 % биомассы бентоса. Средняя численность донного населения по озеру – 3726 экз./м<sup>2</sup>, биомасса – 1.46 г/м<sup>2</sup>. По величине летней биомассы бентоса водоем относится к олиготрофному типу. Водные массы озера по условиям обитания донных организмов – индикаторов сапробности можно отнести к  $\beta$ -мезосапробным или умеренно загрязненным.

Озеро Вейяланъярви является озеровидным расширением реки Хиитоланйоки. Длина озера 3.2 км, максимальная ширина 0.7 км, площадь 1.18 км<sup>2</sup>, максимальная глубина 11 м, средняя – 4 м. Озеро проточное, коэффициент условного водообмена – 97.4.

Воды озера мягкие, гидрокарбонатного класса кальциевой группы. Величина жесткости 0.72–0.89 мг-экв/л, преобладающий катион  $\text{Ca}^{2+}$  (9.0–10.0 мг/л), содержание  $\text{Mg}^{2+}$  4.1–4.9 мг/л, за исключением придонного горизонта глубоководной центральной части озера, где концентрация этих ионов была ниже (2.7 мг/л). Из анионов в озерных водах преобладали гидрокарбонаты (28.1–34.6 мг/л), сульфаты обнаруживались в количестве от 10.6 до 15.5 мг/л, хлориды – от 4.5 до 8.5 мг/л. Активная реакция вод озера по всей толще слабощелочная, величина pH 7.35–7.55. Насыщение воды кислородом определялось глубиной слоя: 91–104 % на поверхности и 49 % у дна. Двуокиси углерода в поверхностных горизонтах содержалось 4.40–6.35 мг/л, в придонных – 14.96 мг/л. Величины цветности основной массы вод озера составляли 38–50 градусов, перманганатной окисляемости 7.9–10.2 мгО/л. В придонных горизонтах глубоководной центральной части значения этих показателей были выше (99 градусов и 12.7 мгО/л соответственно). Величины БПК<sub>5</sub> колебались в достаточно широких пределах как по горизонтали, так и по вертикали (от 1.00 до 2.04 мгО<sub>2</sub>/л). Среди минеральных форм азота доминировал аммонийный, содержание его изменялось от 0.13 до 0.19 мгN/л на поверхности и от 0.24 до 0.35 мгN/л у дна. Нитриты и нитраты в водах озера присутствовали в незначительных количествах (0.003–0.009 мгN/л и 0.02–0.04 мгN/л соответственно). Количество общего фосфора по всей толще воды было однородным (0.20–0.29 мгР/л). Концентрации железа в месте впадения реки Хиитоланйоки были относительно высокими как на поверхности (0.32 мгFe/л), так и у дна (0.36 мгFe/л). В продукционных слоях центральной части озера его количество уменьшалось (0.10–0.17 мгFe/л), но в придонных горизонтах глубоководной части содержание железа возрастало до 0.57 мгFe/л. Водоем по основной массе вод мезогумозный (в придонных горизонтах присутствуют мезополигумозные воды), олиготрофный. По типизации водных объектов и класса качества их воды водоем можно отнести к классу хороших.

В составе фитопланктона выявлено 78 таксонов. Диатомовые водоросли, определяя видовое разнообразие, составляли 60% численности и биомассы планктонной альгофлоры. Среди них доминировали представители р. *Aulacasira*, *Nitzschia*, *Fragilaria*. Средние по озеру количественные показатели: численность 512 тыс. кл./л, биомасса – 0.368 мг/л. По уровню вегетации фитопланктона озеро относится к ультраолиготрофным. Воды озера с учетом массовых видов-индикаторов сапробности можно отнести к  $\beta$ -мезосапробным или умеренно загрязненным.



Видовой состав зоопланктона представлен 25 видами. Доминирующий комплекс образован видами *Thermocyclops oithonoides*, *Chydorus sphaericus*, *Daphnia cristata*, *Kellicottia longispina*. Уровень количественного развития определяли циклопиды, которые составляли около 70% численности и биомассы зоопланктона. Средняя численность организмов зоопланктона составляла 8.47 тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомасса – 0.07 г/м<sup>3</sup>. По уровню трофности озеро относится к ультраолиготрофному, по качеству воды озера классифицируются как  $\beta$ -мезосапробные или умеренно загрязненные.

В донной фауне обнаружено 28 таксонов беспозвоночных из 8 групп. Доминирующее положение как по видовому разнообразию, так и по количественному развитию занимали личинки хирономид (64 % численности и 38% биомассы). Руководящими видами были *Cladotanytarsus mancus*, *Tanytarsus gr. gregarius*, *Cryptochironomus gr. conjungens*. Заметное место в ценозах занимали олигохеты (30 % численности и 27% биомассы). Средняя численность бентоса составляла 2638 экз./м<sup>2</sup> при средней биомассе 1.88 г/м<sup>2</sup>. По уровню развития донной фауны озеро относится к олиготрофным водоемам. Водные массы по показателям зообентоса характеризуются как олиго- $\beta$ -мезосапробные или переходные от чистых к умеренно загрязненным.

Результаты исследований объектов озерно-речной системы реки Хиитоланйоки показали, что по химическим параметрам они мезогумозные, переходные от олиготрофных до мезотрофных, относятся к классу водоемов с хорошим качеством вод.

По уровню развития основных звеньев трофической цепи (фито-, зоопланктона и зообентоса) практически все изученные водоемы можно отнести к олиготрофным, только озеро Тюрьянъярви по фитопланктону является  $\alpha$ -мезотрофным. Водные массы по качеству в целом характеризуются как переходные от чистых к умеренно загрязненным.

Проведенные комплексные исследования водоемов системы реки Хиитоланйоки показали, что экологическое состояние их вполне благоприятно для развития рыбного хозяйства, в частности садкового рыбоводства, спортивного и любительского рыболовства, туризма.

#### Литература

- Балушкина Е.В., Винберг Г.Г., 1979. Зависимость между длиной и массой тела плактонных ракообразных // Экспериментальные и полевые исследования биологических основ продуктивности озер. Л.: Наука. С. 58 – 79.
- Карпечко В.А., 1985. Водные ресурсы // Водное хозяйство Карельского Приладожья. Петрозаводск. С. 12–22.
- Каталог озер и рек Карелии, 2001. /Под ред. Н.Н. Филатова и А.В. Литвиненко Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. С.10–15.
- Китаев С.П., 2007. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. С. 205–211.
- Макрушин А.В., 1974. Биологический анализ качества вод. Л.: Наука. 60 с.
- Методика изучения биоценозов внутренних водоемов, 1975. М.: Наука. С.73–84.
- Новиков Ю.В. и др., 1990. Методы исследования качества воды водоемов. М.: Медицина. 400 с.
- Оценка качества поверхностных вод Кольского Севера по гидробиологическим показателям и данным биотестирования (практические рекомендации), 1988. Апатиты: АН СССР. 25 с.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. Карелия и Северо-Запад, 1978. Т.2,ч.3.Л.: Гидрометеиздат. 983 с.
- Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений, 1983. Л.: Гидрометеиздат. 239 с.
- Рыжков Л.П., 1999. Озера бассейна Северной Ладogi. Петрозаводск: Петрозаводский университет. 204 с.
- Семенов А.Д., 1977. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Л.: Гидрометеиздат. 541 с.

### К ВОПРОСУ ИЗУЧЕНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПОПУЛЯЦИЙ ГИДРОБИОНТОВ НА СЕВЕРНОМ БАСЕЙНЕ

**К.С. Рысакова, И.И. Лыжов, В.А. Мухин, В.Ю. Новиков**

Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича (ПИНРО), Мурманск, Россия  
e-mail: rysakova@pinro.ru

Актуальной практической задачей популяционной генетики промысловых рыб является выявление особенностей генетической структуры популяции, и тем самым определение реальной подразделенности вида на дискретные единицы воспроизводства. Это в свою очередь по-

звolyет равномерно распределить промысловые нагрузки на локальные стада в пределах рационального изъятия, не нарушающего их способности к восстановлению.

Прикладные направления рыбохозяйственной генетики могут успешно развиваться лишь на теоретической базе фундаментальных дисциплин общей и частной генетики – биохимической и молекулярной генетики. Следует отметить, что генетические исследования объектов промысла и аквакультуры выполняются не только в академических, но и в отраслевых институтах.

На Северном рыбопромысловом бассейне, учитывая состояние запасов, объемы вылова, а также сложившуюся международную ситуацию по разделу водных биоресурсов, представляется, что ввиду особой ценности данных видов и сокращением их численности, первоочередными объектами исследований генетической структуры популяций могут являться следующие виды гидробионтов: атлантический лосось, черный палтус, морской окунь и камчатский краб.

#### **Атлантический лосось**

Является важным компонентом экосистем северных рек и ценным объектом промысла и аквакультуры. Образует как пресноводные, так и проходные формы (на Севере России проходную форму называют семгой). Генетические исследования атлантического лосося ведутся уже более 70 лет. В настоящее время создан международный банк данных по генетической структуре лосося.

#### **Черный палтус**

С 50-х годов XX в. является объектом специализированного ярусного и тралового лова в Баренцевом море. Уменьшение нерестового запаса черного палтуса до уровня ниже биологически безопасного побудило СРНК (Смешанную российско-норвежскую комиссию по рыболовству) ввести в 1992 г. запрет на специализированный траловый промысел этого объекта.

В 2004–2007 гг. норвежскими властями были внесены в одностороннем порядке поправки в решение СРНК, смягчающие меры регулирования промысла палтуса (отмена 12 % ограничения прилова в каждом отдельном улове) для норвежских рыбаков в зонах юрисдикции Норвегии. 37-я сессия СРНК по рыболовству приняла решение о продлении запрета прямого тралового промысла палтуса на 2009 г. и поэтому добыча палтуса отечественным флотом по-прежнему осуществляется лишь за счет его прилова на промысле других донных рыб, а также в ходе выполнения исследовательских программ (Состояние биологических сырьевых..., 2009).

Изучение популяционной структуры черного палтуса позволит изучить пути его распространения (Экосистема Карского..., 2008) и аргументировать распределение допустимых уловов черного палтуса между Норвегией и Россией.

#### **Морской окунь**

В Баренцевом море и сопредельных водах отечественным флотом добывается два вида морских окуней рода *Sebastes* – окунь-клювач (*S. mentella*) и золотистый окунь (*S. marinus*). Запасы морских окуней стабилизировались на низком уровне, что в последние годы привело к снижению как международного, так и отечественного вылова (Древетняк, 1998). На 37-й сессии СРНК по рыболовству меры регулирования по окуню-клювачу оставлены без изменений.

Основное направление генетических исследований – выявление внутривидовых различий окуня Баренцева моря и открытой части Норвежского моря.

#### **Камчатский краб**

К концу 1960-х годов камчатский краб был интродуцирован в Баренцево море. Начиная с 1974 года, этот вид стал регулярно встречаться у мурманского побережья Баренцева моря. В 1977 г. камчатский краб был впервые обнаружен в норвежских водах (Зеленина, 2008). Отечественный промысел камчатского краба в российских водах Баренцева моря ведется на лицензионной основе и регламентируется Правилами рыболовства для Северного рыбохозяйственного бассейна.

Актуальность проведения генетических исследований камчатского краба обусловлена необходимостью определения внутривидовых различий краба Баренцева моря (Мухин и др., 1997). Также особый интерес вызывают еще один вселенец – краб-стригун.

Таким образом, назрела явная необходимость проведения генетических исследований по установлению структуры популяций гидробионтов на Северном бассейне.

Изучение генетической структуры возможно проводить кариологическим (хромосомным) анализом, исследованием изоферментов (аллозимов), либо непосредственно изучая последовательность нуклеотидов в ДНК.

Разрешающая способность кариологического анализа, как правило, невелика, а у целого ряда видов, имеющих полиплоидное происхождение, область его применения ограничена еще и тем, что метод не всегда позволяет получать абсолютно надежные результаты. Кроме того, никаких определенных закономерностей в географическом распределении хромосомных вариантов выявить не удастся. В то же время различия по модальному набору хромосом между некоторыми географически удаленными или изолированными популяциями выступают иногда вполне отчетливо, причем даже тогда, когда две изолированные популяции обитают в пределах одной водной системы (Зелинский, 1985).

Практическое использование хромосомных маркеров очень ограничено и в настоящее время в популяционных исследованиях их почти не используют (Артамонова, 2007).

По сравнению с кариологическим анализом анализ белков обладает существенно более высокой разрешающей способностью. Он менее трудоемок и позволяет анализировать большие выборки материала по нескольким генетическим маркерам одновременно. В исследованиях, связанных с задачами систематики, а также в популяционно-генетических исследованиях нашел применение анализ аллозимов – аллельных вариантов белков (Инге-Вечтомов, 1989). При этом под аллельными вариантами в данном виде анализа понимают белки, кодируемые одним и тем же генетическим локусом не только у одного вида, но и у разных, систематически близких видов.

Так, например, благодаря аллозимному анализу появился надежный и доступный способ отличать атлантического лосося от близкого вида – кумжи. В некоторых локусах у этих видов фиксированы разные аллельные варианты ферментов, а для других локусов наборы аллелей, характерные для каждого из видов, не совпадают (Артамонова, 2007).

В настоящее время самым распространенным методом аллозимного анализа является электрофоретическое разделение в крахмальном или полиакриламидном геле. В результате изозимы одного фермента обнаруживаются на электрофореграммах в виде окрашенных полос, занимающих различное положение по отношению к стартовой позиции. Однако в ходе исследований выяснились ограничения в применении этого типа маркеров. Прежде всего, это то, что анализ белков позволяет исследовать полиморфизм только белок-кодирующих последовательностей и только у экспрессирующихся генов. Если учесть, что у высших эукариот всего около 1% генома составляют белок-кодирующие последовательности, очевидно, что от внимания исследователей ускользает основная часть генома. При этом из анализа исключаются такие функционально-значимые участки, как промоторные области, энхансеры, различные сайты регуляции, расположенные в интронах, нетранслируемых областях генов, а также вне генов, часто на значительном расстоянии от кодирующей последовательности.

Более перспективным представляется использование в качестве маркерных систем полиморфных нуклеотидных последовательностей ДНК, позволяющих тестировать генетический полиморфизм непосредственно на уровне генов, а не на уровне продуктов генов, как в случае использования метода белкового полиморфизма.

Распространению методов ДНК-анализа способствует и то, что с их помощью можно определять генотипы рыб прижизненно: достаточное количество ДНК можно получить из чешуи или нескольких капель крови.

Полиморфизм у самых различных видов обнаружен за последние 10–15 лет при изучении первичной структуры ДНК – как ядерной, так и неядерной (например, митохондриальной). Однако продолжительность и высокая стоимость ДНК-тестов пока еще ограничивают их широкое применение. С помощью метода ДНК-анализа возможно решение многих важных задач: определение видовой принадлежности, выявление межвидовых гибридов, изучение путей расселения вида, изучение различий между популяциями, изучение внутривидовой структуры, оценка генетического разнообразия и его мониторинг, установления родственных связей между особями. Для проведения более тонких популяционных исследований структуры популяций возможно исследование матричной ДНК ПДРФ-анализом (полиморфизм длины рестриктивных фрагментов) и изучение митохондриальной ДНК. Тем не менее, известно, что разрешающая способность ПДРФ-анализа сопоставима с разрешающей способностью аллозимного анализа.

Разрешающая способность микросателлитного анализа столь высока, что позволяет надежно (88 – 95,8%, в среднем – более 90%) определять принадлежность отдельных особей к той или иной конкретной популяции, если эти популяции были предварительно охарактеризованы. Надежность идентификации повышается с увеличением числа тестируемых локусов, однако большинство исследователей сходятся на том, что для практики достаточно шести-восьми наиболее высоковариабельных микросателлитов (Артамонова, 2007).

Несмотря на массу достоинств у микросателлитного анализа, как и у любого другого метода, имеются свои ограничения. Его возможности ограничены, когда речь идет о путях расселения вида и выявлении различий между популяциями разных регионов.

Тем не менее, в последнее время все большую популярность приобретает именно метод микросателлитного анализа. Из применяемых в популяционной генетике маркеров для изучения популяционной структуры больше всего подходят микросателлиты, представляющие собой нейтральные и, как правило, высокополиморфные маркеры с высокой частотой мутаций и являющиеся оптимальными для изучения эволюционных процессов в родственных популяциях (Зеленина, 2008).

В общем, хотя генетические исследования являются достаточно сложными и дорогостоящими, назрела насущная необходимость их внедрения в рыбохозяйственную науку. Они должны стать общеупотребительной методикой изучения популяционного разнообразия промысловых гидробионтов, только таким образом будет возможно отстаивание государственных интересов на международной арене.

#### Литература

Артамонова В. С. Генетические маркеры в популяционных исследованиях атлантического лосося (*Salmo salar* L.). Признаки кариотипа и аллозимы. Генетика, 2007, т.43, № 3, с.1–14.

Груздев А.И., Мухин В.А., Кузьмин С.А. Первые результаты генетических исследований камчатского краба *Paralithodes camtschatica* Баренцева моря. Исследования промысловых беспозвоночных Баренцева моря: Сб. науч. тр. ПИНРО. Мурманск: Издательство ПИНРО, 1997. С. 72–79.

Древетняк К.В. Современное состояние запаса окуня-клювача норвежско-баренцевоморской популяции // Материалы отчетной сессии ПИНРО по итогам НИР в 1996–97 гг. Мурманск, 1998. С. 7–14.

Зеленина Д. А. Камчатский краб (*Paralithodes camtschaticus*) в Баренцевом море: сравнительное исследование интродуцированных и нативных популяций / Д. А. Зеленина, Н. С. Мюге, А. А. Волков, В. И. Соколов // Генетика, 2008.- Т. 44, № 7, с.983–991.

Зелинский Ю. П. Структура и дифференциация популяций и форм атлантического лосося. Л.: Наука, 1985. 128 с.

Состояние биологических сырьевых ресурсов Баренцева моря и Северной Атлантики на 2008 г. Мурманск: Издательство ПИНРО, 2009

Экосистема Карского моря. Мурманск: Издательство ПИНРО, 2008. 261 с.

Genetic structure of Red King Crab populations in Alaska facilitates enforcement of fishing regulations – Seeb J. etc. Proc. Int. Symp. King and Tanner Crabs Nov.1989, Anchorage, Alaska. P.491–502.

#### TO A QUESTION OF STUDYING OF GENETIC STRUCTURE OF HYDROBIONTS' POPULATIONS ON NORTHERN BASIN

**K.S. Rysakova, I.I. Lyzhov , V.A. Mukhin, V.Yu. Novikov**

Polar Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography (PINRO),

Murmansk, Russia, e-mail: rysakova@pinro.ru

This analytical review is devoted to one of the hot issues of genetic research of population structure of hydrobionts. The choice of prime objects of research can be justified taking into account a condition of stocks, volumes of catching, and also a difficult international situation concerning allocation of water biological resources. The review of present methods of population genetic researches is given in the present study. The necessity to carry out genetic researches of population structure of hydrobionts in the Northern Basin is proved.

# ИЗМЕНЕНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СУДАКА ВЫГОЗЕРА СПУСТЯ 60 ЛЕТ ПОСЛЕ ВСЕЛЕНИЯ

А.А. Рюкшиев

ФГУ «Карельское бассейновое управление по сохранению, воспроизводству водных биологических ресурсов и организации рыболовства». г. Петрозаводск, Россия  
e-mail: biology@krc.karelia.ru

## Введение

Одним из перспективных путей увеличения ценных видов рыб в Республике Карелия является рыбоводно-акклиматизационные мероприятия. В 1948 г. сотрудниками Карельской производственной акклиматизационной станции (КПАС) были начаты работы по вселению судака из Онежского озера в Выгозеро. Позднее работы по акклиматизации судака были продолжены еще на 13 водоемах Карелии (Справочник ..., 2000). Маточными водоемами являлись крупные озера Карелии: Онежское, Ладожское, Сямозеро и с 1968г. – Выгозеро. Анализ исследований показал, что положительные результаты по вселению судака отмечены в озерах: Выгозеро, Ведлозеро, Янисъярви, Суоярви, где ведется его промысловый лов. В некоторых озерах он залавливается единичными экземплярами, а в большинстве водоемов, которые в последние годы были сильно подвержены антропогенному воздействию, судак не выявлен (Рюкшиев, 2007; Рюкшиев, Стерлигова, 2008; Стерлигова и др., 2009).

Цель исследования – провести сравнительный морфометрический анализ судака Выгозера 1967 г. и 2007 г.

## Материалы и методы

Материал по морфометрии судака Выгозера (25 экз.) собран в 2007 г. по методике И.Ф. Правдина (1966). Статистическая обработка данных проводилась стандартными методами (Лакин, 1990; Ивантер, Коросов, 2004). Для сравнительного анализа по морфометрии судака использованы материалы Л.А. Кудерского (1967).

## Результаты и их обсуждение

Выгозеро относится к крупному водоему Карелии, площадью 1159 км<sup>2</sup> (табл. 1). В 1933 году озеро было превращено в водохранилище и в результате этого произошло затопление большой территории (площадь озера увеличилась с 550 до 1160 км<sup>2</sup>) и подъем воды на 7 метров. Сравнение основных лимнологических показателей Выгозера показал, что произошли изменения в его экосистеме. С затопленных территорий в водохранилище поступило большое количество органических и минеральных веществ, что оказало существенно влияние на гидрохимический режим водоема (Озёра Карелии..., 1959; Современное состояние ..., 1998). По сравнению с 60-ми годами увеличилась максимальная глубина, pH, содержание кислорода и биомасса зоопланктона, биомасса бентоса, уменьшилась – перманганатная окисляемость (табл. 1). Вероятно, что процесс восстановления и стабилизации водоёма происходит до настоящего времени. На экосистему озера существенно влияют стоки с города Сегежи и Сегежского ЦБК (находится в пределах города). Все это влияет на морфологические и биологические показатели судака.

В ихтиофауне озера в 1967 г. Было отмечено 11 видов рыб: атлантический лосось – *Salmo salar* L., европейская ряпушка – *Coregonus albula* (L.), обыкновенный сиг – *Coregonus laveret* (L.), щука – *Esox lucius* L., обыкновенный язь – *Leuciscus idus* (L.), лещ – *Abramis brama* (L.), плотва – *Rutilus rutilus* (L.), налим – *Lota lota* (L.), ерш – *Gymnocephalus cernuus* (L.), окунь – *Perca fluviatilis* L., судак – *Zander lucioperca* (L.). Позднее были выявлены новые виды: уклейка – *Alburnus alburnus* (L.), обыкновенный подкаменщик – *Cotus gobio* L. и корюшка – *Osmerus eperlanus* (L.), которая проникла в водоем из Сегозерского водохранилища по реке Сегежа и расселилась по всему водоему (Гуляева, 1967; Вебер, 1975; Рюкшиев, 2007).

Для улучшения качественного состава ихтиофауны Выгозера с 1948 г. по 1951 г. ежегодно проводилось вселение судака. За этот период с Чёлмужской губы Онежского озера в

Выгозеро было выпущено 2440 штук разновозрастного судака (Справочник..., 2000). В 1956 гг. на данном водоеме был отмечен его первый нерест (Кудерский, Сонин, 1968; Петрова, 1985). В 1960 гг. Л.А. Кудерский (1967) изучал морфометрические показатели судака и отметил, что он существенно изменился от исходной популяции Онежского озера и это выявлено у 19 из 35 пластических и счётных признаков.

Таблица 1

**Лимнологические показатели Выгозера**

Показатели	1950- 1960-е. годы*	2000-е годы **
Площадь водной поверхности, км <sup>2</sup> .	1160	1160
Общая площадь (с островами), км <sup>2</sup>	1285	1285
Наибольшая длина, км.	89,2	89,2
Наибольшая ширина, км.	23,5	23,5
Средняя глубина, м.	6,2	6,2
Максимальная глубина, м.	18	28
Прозрачность, м	1,4 – 2,4	1,4 – 2,4
Цветность, град	-	45 – 50
pH	6,65 – 7,06	6,5 – 7,3
Содержание O <sub>2</sub> , % насыщения	78,9 – 97,7	86 – 93
Перманганатная окисл., мгО/л,	12,2 – 16,9	6,6 – 12
Фосфор минер., мкг/л	-	4 – 36
Фосфор общий, мкг/л	-	17 – 76
Аммонийный азот, мгN/л NH <sub>4</sub>	-	0,05 – 5,1
Нитратный азот мг/л NO <sub>3</sub>	-	0,12 – 0,44
Азот органич., мг/л	-	2,8 – 3,4
Биомасса зоопланктона, г/м <sup>3</sup>	0,08 – 0,68	0,3 – 4,2
Биомасса бентоса, г/м <sup>2</sup>	0,2 – 3,8	2,8 – 9,0
Количество видов рыб	11	14

\*– Озера Карелии..., 1959; Александров, Новосельцева, 1968

\*\* – Современное состояние водных объектов Республики Карелия, 1998

Проведенный нами сравнительный анализ морфометрических признаков судака Выгозера 1967 и 2007 гг. показал, что из 35 признаков у 24 отмечены значительные отличия как пластических, так и счётных признаков (табл. 2). У судака произошло уменьшение числа чешуй в боковой линии и увеличение числа ветвистых лучей в анальном плавнике. Из признаков головы, выраженных в процентах от длины тела (ad), изменения коснулись длины головы, горизонтального диаметра глаза, длины заглазничного отдела, длины верхнечелюстной и нижнечелюстной кости.

Среди признаков головы, выраженных в процентах длины тела, увеличились диаметр глаза горизонтальный, заглазничный отдел головы, длина верхне- и нижнечелюстных костей и ширина лба.

Из признаков длины тела, выраженных в процентах от длины тела (ad) произошло увеличение длины хвостового стебля и антедорсального расстояния и уменьшение расстояния от анального отверстия до анального плавника. Изменения коснулись длины основания первого и второго спинных плавников, высоты спинного и анального плавников, длины и ширины грудного плавника, длины брюшного плавника и расстояния между первым и вторым спинными плавниками. Произошло уменьшение высоты второго спинного плавника.

Таблица 2

## Сравнительный анализ морфометрических признаков судака Выгозерского водохранилища

Признаки	1967*		2007**		$M_1 - M_2$
	35 экз.		25 экз.		
	ср. величина (М)	ошибка ср (m)	ср. величина (М)	ошибка ср (m)	$\sqrt{m_1^2 + m_1^2}$
Длина тела (ad), см	46,99	-	41,68	0,61	
Чешуй в боковой линии	92,79	0,48	89,36	0,46	5,159
Лучей в ID	14,11	0,07	14,1	0,07	0,101
Колючих лучей в IID	2,2	0,08	2	0,08	1,768
Ветвистых лучей IID	21,31	0,17	21,24	0,19	0,275
Колючих лучей в А	2,31	0,08	2,19	0,09	0,997
Ветвистых лучей в А	11,4	0,1	12,33	0,17	-4,715
В % длины тела (ad)					
Наибольшая высота тела	20,96	0,23	21,5	0,19	-1,810
Наименьшая высота тела	7,9	0,08	7,82	0,05	0,848
Антедорсальное расстояние	29,47	0,14	31,44	0,22	-7,555
Расстояние от анального отверс. до А	3,03	0,06	2,7	0,06	3,889
Длина хвостового стебля	24,39	0,13	25,45	0,196	-4,507
Длина головы	26,54	0,12	29,44	0,19	-12,905
Высота головы у затылка	14,38	0,19	13,92	0,14	1,949
Диаметр глаза горизонтальный	3,87	0,04	5,27	0,03	-28
Заглазничный отдел головы	16,29	0,15	18,23	0,13	-9,774
Длина верхнечелюстной кости	11,46	0,16	13,09	0,14	-7,667
Длина нижнечелюстной кости	14,39	0,06	16,68	0,1	-19,637
Ширина лба	4,08	0,06	7,86	0,09	-34,946
Длина основания ID	24,44	0,18	25,74	0,16	-5,398
Длина основания IID	22,56	0,15	23,53	0,48	-1,929
Расстояние I D и II D	3,58	0,14	2,45	0,05	7,601
Высота ID	11,44	0,12	12,03	0,09	-3,933
Высота IID	11,85	0,12	11,27	0,1	3,713
Длина Р	14,29	0,1	15,85	0,11	-10,494
Ширина Р	3,75	0,05	3,53	0,15	1,391
Длина V	16,17	0,12	17,32	0,15	-5,987
Длина основания А	12,45	0,12	12,27	0,12	1,061
Высота А	12,55	0,1	12,2	0,12	2,241
В % длины головы					
Диаметр глаза горизонтальный	14,97	0,21	17,89	0,174	-10,707
Заглазничный отдел головы	61,61	0,36	64,18	1	-2,418
Длина верхнечелюстной кости	42,84	0,19	58,209	1,369	-11,120
Длина нижнечелюстной кости	54,38	0,2	58,955	0,448	-9,325
Ширина лба	15,59	0,25	29,85	0,61	-21,631
В % от длины Р					
Ширина основания Р	26,52	0,35	22,27	2,07	2,024

\* по данным Л.А. Кудерского (1967); \*\* наши данные

## Вывод

Таким образом, в настоящее время популяция судака Выгозера, существенно отличается по морфометрическим показателям (из 35 признаков у 24 отмечены отличия) от популяции судака 1967г., что вероятно связано с эвтрофированием водоема.

### Литература

- Александров Б. М., Новосельцева Р. И. 1968. О зоопланктоне Выгозера // VII СУСПБР по проблеме «Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоёмов Карелии». Петрозаводск. С. 73 – 74
- Вебер Д.Г. 1975. Динамика Выгозерского ихтиоценоза // Тез. докл. Отчетной сессии ученого Совета СевНИОРХ. Петрозаводск. С. 29–30.
- Гуляева А.М. 1967. О корюшке Выгозерского водохранилища // Изв. ГосНИОРХ. Т. 62. С. 164–169.
- Ивантер Э.В., Коросов А.В. 2003. Введение в количественную биологию. Петрозаводск: ПГУ. 302с.
- Кудерский Л.А. 1967. Морфологические особенности судака, акклиматизированного в Выгозерском водохранилище // Изв. ГосНИОРХ. Т. 62. С. 141–152.
- Кудерский Л.А., Сонин В.П. 1968. Обогащение ихтиофауны внутренних водоемов Карелии // Тр. Кар. Отд. ГосНИОРХ. Т.5. Вып. 1. С. 310–314.
- Лакин Г.Ф. 1990. Биометрия. М.: Наука. 352с.
- Озера Карелии (природа, рыбы и рыбное хозяйство). 1959. Петрозаводск: Гос. издат. КАССР. 498с.
- Петрова Л.П. 1985. Результаты и перспективы акклиматизационных работ с судаком в КАССР // Результаты и перспективы рыбоводно-акклиматизационных работ в Карелии. Сборник научных трудов. Мурманск: ПИНРО. С. 44–53.
- Правдин И.Ф. 1966. Руководство по изучению рыб. М.: Пищевая промышленность. 376с.
- Рюкшиев А.А. 2007. Результаты вселения судака в Выгозеро // Журн. рыбоводство и рыболовство. Т. 23. № 2. С. 25–26.
- Рюкшиев А.А., Стерлигова О.П. 2008. Результаты шестидесятилетних работ по интродукции судака в водоемы Карелии // Матер. науч. конф. «Водные и наземные экосистемы: проблемы и перспективы исследований» Вологда. ВГУ. С. 359–362.
- Современное состояние водных объектов РК. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 188с.
- Справочник по объёмам рыбоводно-акклиматизационных работ в Республике Карелия. 2000. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 30с.
- Стерлигова О.П., Рюкшиев А.А., Ильмаст Н.В. 2009. Распространение судака в водоемах Карелии // Ж. Вопр. ихтиологии. Т. 51. № 3.

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МАКРОЗООБЕНТОСА ОЗЕР ЗАОНЕЖСКОГО ПОЛУОСТРОВА

**А.В. Рябинкин**

Учреждение Российской академии наук Институт водных проблем Севера  
Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск, Россия  
e-mail: sorbus08@mail.ru

### Введение

В настоящее время в связи с возрастающей антропогенной нагрузкой на водоемы необходимо постоянно оценивать степень загрязнения водных объектов, непременным условием при этом следует считать гидробиологические исследования на всех трофических уровнях. Организмы бентоса – это одна из наиболее важных в экологическом отношении групп пресноводных беспозвоночных, являющаяся как ценным кормовым объектом рыб, так и индикатором различных типов загрязнений.

Озера Заонежья характеризуются замедленным водообменом, что повышает опасность их загрязнения при возникновении критических ситуаций на водосборе (нарушение регламента применения удобрений и ядохимикатов, разливы нефтепродуктов, сброс рудничных вод и т.п.). Вместе с тем последние исследования водоемов Заонежского полуострова проводились сорок лет тому назад, и возникла необходимость получения современных данных о состоянии водных экосистем в целом и макробентоса в частности.

В результате на данной территории образовался целый узел экологических, экономических и социальных проблем, связанных с комплексным освоением богатых лесных, рекреационных, минеральных, аграрных и других ресурсов. Необходимость предотвращения утраты разнообразия биоты при оптимизации природопользования по экологическим и социально-экономическим параметрам здесь является одной из основных проблем. Она имеет и большой общественный резонанс (Инвентаризация ..., 2000).

### Задачи:

1. Изучить видовой состав и таксономическую структуру макрозобентоса озер;
2. Определить количественные характеристики сообществ донных беспозвоночных;



3. Оценить трофический статус водоемов и современное состояние качества вод по макрозообентосу.

### **Общая характеристика и изученность**

Специфика гидрографии Заонежского полуострова определяется, в первую очередь, особым, нигде более в Карелии не встречающимся, рельефом. Основная его особенность – частое чередование узких и длинных гряд с узкими же понижениями. Последние, как правило, заняты либо заливами Онежского озера, либо многочисленными озерами (Литвиненко, 2000). В районе Заонежья расположено, по данным «Каталога озер Карелии» (2001) 251 озеро, из которых наиболее крупные: Яндомозеро, Ладмозеро, Путкозеро, Космозеро, Падмозеро и Ванчозеро. По происхождению большая часть водоемов Заонежья относится к провальнo-тектоническим и тектонико-ледниковым. Они очень разнообразны по морфометрическим и гидрологическим показателям. Как правило, их отличает своеобразная очень вытянутая форма. Длина может достигать десятков километров, а ширина в отдельных местах не превышать нескольких сотен метров. Озера подобной очень вытянутой формы достаточно редки и встречаются только в Северной Шотландии, на плато Кемберленд (северо-западная Англия) и на плато Путорана (северо-запад Средней Сибири) (Семенов, 1993).

Очень важной особенностью озер Заонежья, во многом определяющей и специфику биоразнообразия водных объектов района, является очень малые площади их водосборов и, соответственно, низкие значения удельных водосборов). Последняя величина косвенно характеризует объем поступления в водоем твердого и жидкого стока, а также тепла, поступающего с водами притоков, и таким образом степень влияния водосбора на все внутриводоемные процессы (Литвиненко, 2000).

Водоемы Заонежья представляют собой особый гидрохимический тип вод. Его основными особенностями являются: повышенная минерализация (от 47 до 127 мг/л) и невысокое содержание органических веществ (от 10 до 25 мг/л), преимущественно автохтонного происхождения. Воды всех заонежских озер бедны минеральным фосфором (от 0,002 до 0,0045 мг/л) и железом (от 0,006 до 0,12 мг/л). Активная реакция (7,20 – 7,45) и газовые условия в водоемах во все сезоны благоприятны для жизни организмов. Исключением для последних может быть озеро Падмозеро из-за большого дефицита кислорода зимой и повышенных концентраций CO<sub>2</sub>. По химическим данным вода озер Заонежья вполне удовлетворяет требованиям, предъявляемым к питьевым водам и водам для хозяйственно-бытовых нужд (Маслова, 1965; Старцев, 1993; Литвиненко, 2000).

Сведения о фауне беспозвоночных озер Заонежского полуострова впервые были получены еще в 1866 г., когда Кесслер К.Ф. обнаружил в озере Путкозеро реликтовых ракообразных *Mysis relicta*, *Pallasiola (Pallasea) quadrispinosa*, *Monoporeia (Pontoporeia) affinis* и *Gammaracantus sp.*, а в 1869 г. Яржинский Ф.Ф. это подтвердил (Герд, 1946). Количественные характеристики донной фауны ряда озер приведены в справочнике «Озера Карелии» (Озера Карелии, 1959). Более детальные исследования макрозообентоса озер с составлением списков видового состава, описанием таксономической структуры бентоценозов, биотопического распределения и оценкой кормовой базы для рыб-бентофагов были проведены в 1962–1963 гг. экспедицией Карело-Финской базы АН СССР. Были исследованы озера Путкозеро, Ладмозеро, Падмозеро, Ванчозеро и Нижнее Пигмозеро (Соколова, Гордеев, 1965).

### **Материалы и методы исследований**

Основой для данной работы послужили материалы полученные по проекту «Мониторинг озер Заонежья» Петрозаводским государственным университетом совместно с Институтом водных проблем Севера КарНЦ РАН в 1999–2002 г.г. из наиболее крупных озер Заонежья: Ванчозера, Космозера, Ладмозера, Падмозера, Путкозера и Яндомозера.

Для отбора бентоса в зоне литорали озер на твердых субстратах применялась ручная качественная сеть с ячейей 0.5 мм. Пробы отбирались на глубинах 0.5–1.0 м. Профундальный макрозообентос отбирался дночерпателем Экмана, с площадью захвата 300 см<sup>2</sup>. Пробы консервировались 4% раствором формалина. Камеральная обработка проб проводилась по стандартной методике (Методика изучения ..., 1983). На основе полученных материалов была сформирована база данных в системе АСОГД (автоматизированная система обработки гидробиологических данных), разработанной в лаборатории гидробиологии Института водных проблем Севера Кар.НЦ РАН (Хазов, 2000).

## Результаты и обсуждение

### Видовой состав и таксономическая структура бентофауны

По данным исследований за 1999–2002 гг. в настоящее время в составе донной фауны озер насчитывается свыше 100 таксономических единиц. Были отмечены представители Turbellaria, Nematoda, Oligochaeta, Hirudinea, Bivalvia, Gastropoda, Crustacea, Hydracarina, Insecta (Plecoptera, Ephemeroptera, Trichoptera, Odonata, Heteroptera, Megaloptera, Coleoptera, Diptera). Наиболее разнообразна фауна Mollusca (12 видов), Ephemeroptera (8 видов), Trichoptera (10 видов) и Diptera, особенно семейства Chironomidae (53 вида и личиночные формы).

По степени видового разнообразия исследованные озера весьма различны. Наиболее богата в качественном отношении бентофауна озер Путкозера (55 видов) и Космозера (45 видов). В Ванчозере и Ладмозере – 24 вида, а в Яндомозере и Падмозере было обнаружено лишь 19 и 16 видов донных беспозвоночных соответственно. Индекс видового разнообразия Шеннона (Shannon, 1948), рассчитанный с учетом литоральной зоны, колебался от 2.91 (Яндомозеро) – 3.03 (Падмозеро) до 3.30 (Космозеро, Ванчозеро) – 3.6 (Ладмозеро, Путкозеро).

Во всех озерах встречены представители, Oligochaeta, Mollusca и Chironomidae (*Procladius sp.* и *Tanytarsus sp.*). В месте с тем отмечен ряд видов характерных только для конкретных озер и не обнаруженных в остальных из исследованных нами водоемов, что указывает на своеобразие их донной фауны, несмотря на родственный генезис.

Так *Cloeon sp.* и *Trissocladius zalutschicola* были зарегистрированы только в Ванчозере; *Valvata pulchella*, *Valvata sp.*, *Corynocera ambigua*, *Cryptochironomus ussouriensis* и *Cryptochironomus sp.N9* – в Падмозере; *Paratanytarsus sp.*, *Leptochironomus tener*, *Kribioxenus brayi*, *Stictochironomus sp.*, *Potthastia campestris* и *Chaoborus sp.* – в Яндомозере; *Diura nanseni*, *Leptocerus sp.*, *Potamophylax sp.*, *Micronecta sp.*, *Latelmis sp.*, *Paracladopelma camptolabis*, *Trissocladius parataticus*, *Heterotanytarsus apicalis*, *Synorthocladius semivirens*, *Cricotopus silvestris* и *Cricotopus bicinctus* – только в Ладмозере; *Bithynia tentaculata*, *Limnaea auricularia*, *Limnaea atra*, *Choanomphalus rossmaessleri*, *Caenis robusta*, *Nemoura sp.*, *Lepidostoma hirtum*, *Chaetopteryx sp.*, *Limnius sp.*, *Stempellinella minor*, *Cryptotendipes horsatus*, *Glyptotendipes gripecoveni*, *Pentapedilum exectum*, *Cricotopus algarum* и *Limnophyes septentrionalis* – только в Космозере.

Озера существенно различаются и по таксономической структуре макробентоценозов. Так, в Падмозере доминантной группой являются хирономиды (*Procladius sp.* и *Chironomus sp.*). Во всех остальных озерах в состав доминирующего комплекса бентоценозов входят Oligochaeta и Chironomidae (*Procladius sp.*, а в Яндомозере – *Einfeldia carbonaria*). В Ванчозере, Ладмозере и Путкозере в состав доминирующего комплекса входят также Amphipoda (*M. affinis*).

При сравнении результатов полученных нами с материалами ранее проведенных исследований (1961–1963 гг.) выявлено, что хотя доминирующие комплексы макрозообентоса озер Ванчозера, Ладмозера и Путкозера остались прежними, существенным образом изменилась их таксономическая структура. Произошло сокращение доли реликтовых ракообразных и замена их в руководящем комплексе на эврибионтные формы хирономид и олигохет, при почти не изменившихся показателях общей численности и биомассы макрозообентоса.

### Количественные характеристики макрозообентоса

Озера Заонежского полуострова находятся на разных стадиях развития. Среди них наблюдаются переходы от озер типично олиготрофных до мезотрофных и сильно эвтрофированных водоемов. В связи с этим отдельные водоемы имеют существенные различия в составе и распределении зообентоса. Средние показатели биомассы колебались в широких пределах: от 1,8 г/м<sup>2</sup> в Ладмозере до 13,7 г/м<sup>2</sup> в Яндомозере.

Среди исследованных водоемов Заонежья представляет наибольший интерес оз. Путкозеро. Оно наиболее изучено в отношении донной фауны. Данные о нем имеются еще с 1866 года.

Путкозеро – это понтопорейный водоем с обильным развитием ракообразных в составе донной фауны. Их встречаемость в пробах была 100% (табл. 4.4). *Monoporeia affinis* (массовый вид) и *Pallasiola quadrispinosa* составляют около 60% общей численности и биомассы бентоса этого озера. Численность Amphipoda достигает 5200 экз./м<sup>2</sup>, биомасса – 8,1 г/м<sup>2</sup>. Прочие представители донной фауны встречаются реже и их вклад в общую биомассу бентоса не такой значительный. Средняя

биомасса составила 1,1 г/м<sup>2</sup>. Относительные значения в ценозах 15% и 8% соответственно. Обычными были представители Oligochaeta, Chironomidae, Bivalvia, Gastropoda и Ephemeroptera. Их встречаемость составила до 40%. Средняя численность макрозообентоса в озере Путкозеро составила 8700 экз./м<sup>2</sup>, а средняя биомасса – 12,6 г/м<sup>2</sup>. Путкозеро относится к водоемам мезотрофного типа с высокой для карельских условий биомассой бентоса. Это озеро с наиболее сложной структурной организацией среди исследованных водоемов и высокой степенью биоразнообразия бентоценозов.

По результатам данных, полученных за 2001 г., в сравнении их с материалами прошлых лет (Соколова, Гордеев, 1965) видно, что существенных изменений в донной фауне озер не произошло. Как и прежде, основу профундальных бентоценозов образуют ценные в кормовом отношении реликтовые ракообразные. Но следует отметить, что в Путкозере произошло небольшое сокращение их доли в бентофауне. Так как озеро не испытывает сильного антропогенного воздействия, то это видимо связано с естественным процессом эвтрофикации водоема.

### Заключение

По полученным данным в настоящее время в составе бентоценозов озер Заонежья насчитывается свыше 100 видов (так как представители некоторых таксонов до вида не определялись). Были отмечены представители Turbellaria, Nematoda, Oligochaeta, Hirudinea, Bivalvia, Gastropoda, Crustacea, Hydracarina, Insecta (Plecoptera, Ephemeroptera, Trichoptera, Odonata, Heteroptera, Megaloptera, Coleoptera, Diptera). Наиболее разнообразна фауна Mollusca (12 видов), Ephemeroptera (8 видов), Trichoptera (10 видов) и Diptera, особенно семейства Chironomidae (53 вида).

Исследованные озера весьма различаются по степени видового разнообразия. Наиболее богата в качественном отношении бентофауна озер Путкозера (55 видов) и Космозера (45 видов). В Ванчозере и Ладмозере – 24 вида, а в Яндомозере и Падмозере было обнаружено лишь 19 и 16 видов донных беспозвоночных соответственно. Индекс видового разнообразия Шеннона (Shannon, 1948), рассчитанный с учетом литоральной зоны, колебался от 2.91 (Яндомозеро) – 3.03 (Падмозеро) до 3.30 (Космозеро, Ванчозеро) – 3.6 (Ладмозеро, Путкозеро).

Во всех водоёмах были отмечены представители Oligochaeta, Mollusca и Chironomidae (*Procladius sp.* и *Tanytarsus sp.*). В месте с тем отмечен ряд видов характерных только для конкретных озер и не обнаруженных в остальных из исследованных водоемов, что указывает на своеобразие их донной фауны, несмотря на родственный генезис.

В Падмозере доминантной группой являются хирономиды (*Procladius sp.* и *Chironomus sp.*). Во всех остальных озерах в состав доминирующего комплекса бентоценозов входят Oligochaeta и Chironomidae (*Procladius sp.*, а в Яндомозере – *Einfeldia carbonaria*). В Ванчозере, Ладмозере и Путкозере в состав доминирующего комплекса входят также Amphipoda (*Monoporeia affinis*), а в Космозере – Nematoda.

Средний уровень количественного развития макрозообентоса колебался в широких пределах: численность от 8734 экз./м<sup>2</sup> в Путкозере до 722 экз./м<sup>2</sup> в Падмозере и биомасса от 13,7 г/м<sup>2</sup> в наиболее подверженном процессам эвтрофирования Яндомозере до 1,8 г/м<sup>2</sup> в олиготрофном Ладмозере.

В озерах Ванчозеро, Ладмозеро и Путкозеро по сравнению с ранее проведенными исследованиями (1961–1963 гг.) произошло сокращение доли реликтовых ракообразных и замена их в руководящем комплексе на эврибионтные формы хирономид и олигохет, при почти не изменившихся показателях общей численности и биомассы макрозообентоса.

Была проведена оценка качества вод исследованных озер с использованием организмов макрозообентоса. Озера Заонежья относятся к категории умеренно загрязненных, среди которых наиболее загрязнено Падмозеро.

Особое внимание, с нашей точки зрения, следует обратить на необходимость сохранения естественных биоценозов оз. Путкозеро как водоема с высокой степенью разнообразия фауны донных беспозвоночных, наличием в нем полного комплекса реликтовых ракообразных – характеристик, практически не изменившихся за последние почти 40 лет.

### Литература

Герд С.В., 1946. Обзор гидробиологических исследований озер Карелии // Труды Карело-Финского отд. ВНИОРХ, Т. II. С 27–140.

Каталог озер и рек Карелии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2001. 290 с.

Литвиненко А.В., 2000. Гидрографические особенности территории Заонежья // Инвентаризация и изучение биологического разнообразия на территории Заонежского полуострова и северного Приладожья: Оперативно-информационные материалы / Карельский НЦ РАН. Петрозаводск. С. 41–44.

Маслова Н.П., 1965. Гидрохимия озер западного Заонежья // Вопросы гидрологии, озераведения и водного хозяйства Карелии. Вып. XXIII. Петрозаводск. С. 141–154.

Методика изучения биоценозов внутренних водоемов. М., «Наука», 1983.

Озера Карелии. Природа, рыбы и рыбное хозяйство. Справочник. Петрозаводск. 1959. 619 с.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Т.2. Карелия и Северо-Запад. Л., 1965. 700 с.

Рябинкин А.В., Полякова Т.Н., Кухарев В.И., 2000. Макрозообентос // Инвентаризация и изучение биологического разнообразия на территории Заонежского полуострова и северного Приладожья: Оперативно-информационные материалы / Карельский НЦ РАН. Петрозаводск. С. 184–188.

Семенов В.Н., 1993. Климат и гидрология поверхностных вод // Кижский вестник №2. Заонежье. Петрозаводск. С. 53–59.

Соколова В.А., Гордеев О.Н., 1965. Донная фауна озер Заонежья // Вопросы гидрологии, озераведения и водного хозяйства Карелии. Петрозаводск. С. 180–195.

Старцев Н.С., 1993. Природные воды Заонежского полуострова // Кижский вестник №2. Заонежье. Петрозаводск. С. 59–74.

Хазов А.Р., 2000. Анализ гидробиологических данных и его программная реализация. Петрозаводск. 154 с.

## **ЭКОЛОГИЯ ДЕТЕНЫШЕЙ ГРЕНЛАНДСКОГО ТЮЛЕНЯ НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ РАЗВИТИЯ В БЕЛОМ МОРЕ**

**В.Н. Светочев, О.Н. Светочева**

Учреждение Российской академии наук Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра РАН, г. Мурманск, Россия  
e-mail: svol@atnet.ru

Численность беломорской популяции гренландского тюленя (*Phoca groenlandica*) достигает 1.8–2 млн. особей (Haug, Svetochев, 2004). Зимой тюлени приходят в Белое море для размножения и спаривания, образуя массовые залежки на дрейфующих льдах. Численность приплода достигает 300 тыс. особей (Potelov et al., 2003). Детеныши гренландского тюленя находятся в Белом море с февраля по май, их постнатальное развитие (молочное вскармливание, линька, переход на самостоятельное питание) происходит на дрейфующем льду, в это время щенки адаптируются к обитанию в воде. Известно, что детеныши после рождения быстро увеличивают массу тела, а постэмбриональная линька, включающая несколько стадий, протекает в течение 25–30 дней (Гренландский тюлень..., 2001; Дорофеев, 1960). Сроки щенки в Белом море составляют около 4-х недель, в 1995–2005 гг. щенка проходила с 14–17 февраля по 12 марта, а «время наступления 50% щенки» – с 27 февраля по 03 марта (Светочев, Светочева, 2009).

В данной работе обобщены результаты исследования биологических показателей и питания детенышей гренландского тюленя в постнатальный период в феврале-мае. Материалы были собраны в 1995–2008 гг. на льдах в Белом море во время коммерческого промысла гренландского тюленя, а также от животных, погибших в рыболовных орудиях лова, в соответствии с принятыми методиками (Светочев и др., 2003).

В период молочного кормления детеныши гренландского тюленя интенсивно растут, что приводит к изменению весовых и линейных параметров, а также пропорций тела. В это время начинается и подготовка к замене белого эмбрионального волоса на короткий жесткий волос пятнистой окраски. Для описания этапов развития детенышей беломорской популяции мы использовали разделение на 7 возрастных стадий, «новорожденный», «зеленец», «худой белек», «жирный белек», «с серой тенью», «рваный жакет», «серка» (Светочев, Светочева, 2009). У детенышей были изучены следующие показатели: масса тела, зоологическая длина и проекция длины тела, толщина сала на спине, а также коэффициент упитанности по Смирнову для соответствующих стадий (Табл.1, Рис. 1).

Длина тела (проекция) у детенышей увеличивалась от стадии «новорожденный» до стадии «с серой тенью», а затем не изменялась следующие 30–40 дней. Анализ средней массы тела детены-

шей для каждой возрастной стадии показал, что прирост массы происходит во время молочного кормления, т.е., в течение первых 14 дней жизни, начиная со стадии «новорожденный». Масса тела детенышей увеличивалась более чем в три раза, за это время детеныш заканчивал молочное кормление и переходил в стадию «с серой тенью». В дальнейшем у детенышей было отмечено постепенное снижение общей массы тела, которое происходило только за счет массы каркаса (тушка без шкуры с салом). Например, различие в средней массе тела у детенышей на стадиях «с серой тенью» (15–18 марта 2003 г.) и «рваный жакет» (22–28 марта 2002 г.) составило 3.1 кг (Табл. 1). При этом масса шкуры с салом уменьшилась лишь на 0.8 кг ( $21.8 \pm 0.64$  кг и  $21.0 \pm 0.76$  кг, соответственно), а масса каркаса – на 2.3 кг ( $15.8 \pm 0.32$  кг и  $13.5 \pm 0.34$  кг, соответственно). Средняя толщина сала на спине на стадии «серка» в марте и начале апреля составляла 50,3 и 44,7 мм, соответственно; общая масса тела – 32,9 и 30,8 кг, соответственно.

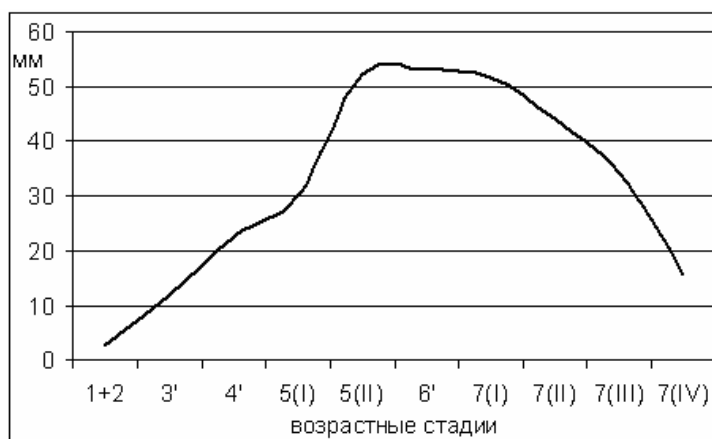


Рис. 1. Упитанность детенышей гренландского тюленя в феврале-мае (2003–2008) на разных возрастных стадиях. Возрастные стадии: 1+2 – «новорожденный+зеленец», 3 – «худой белек», 4 – «жирный белек», 5(I) – «с серой тенью» с 1 по 10 марта, 5(II) – «с серой тенью» с 11 по 20 марта, 6 – «рваный жакет», 7(I) – «серка» в конце марта, 7(II) – «серка» в начале апреля, 7(III) – «серка» в конце апреля, 7(IV) – «серка» в мае.

Таблица 1

**Динамика морфометрических показателей детенышей гренландского тюленя**

Стадии детенышей. дата	Масса тела, кг		Проекция тела, см		Толщина сала на спине, мм		Индекс упитанности по Смирнову (соотношение макс.обхвата к зоол. длине, %)	
	M±m	n	M±m	n	M±m	n	M±m	n
«Новорожденный» + «зеленец» (01–03 марта 2003 г.)	11.3±0.28	32	89.3±0.77	32	2.7±0.19	32	56.7±0.51	32
«Худой белек» (02–03 марта 2003 г.)	15.0±0.43	35	92.1±0.60	35	11.9±0.89	35	62.7±0.75	35
«Жирный белек» (03–07 марта 2003 г.)	19.1±0.35	42	95.5±0.61	42	22.5±0.96	42	67.4±0.57	42
«С серой тенью» (03–07 марта 2003 г.)	23.4±0.61	28	97.4±0.67	28	29.8±0.96	28	72.4±0.71	28
«С серой тенью» (15–18 марта 2003 г.)	37.5±0.90	48	100.2±0.60	48	52.0±1.14	48	83.0±0.64	48
«Рваный жакет» (22–28 марта 2002 г.)	34.5±1.03	35	100.7±0.72	35	52.8±1.98	34	82.3±0.71	35
«Серка» (23–28 марта 2002 г.)	33.7±0.74	59	100.8±0.64	59	51.7±1.09	59	80.4±0.52	59
«Серка» (03–08 апреля 1999 г.)	31.4±0.73	92	101.3±0.6	92	44.0±0.97	92	74.3±0.50	92
«Серка» (20–29 апреля 1999 г.)	23.3±0.56	31	99.4±0.76	31	34.2±1.40	31	68.8±0.92	31

Детеныши гренландского тюленя начинают активно сходить в воду и плавать на стадии серка в возрасте 30–35 дней от рождения. Этого возраста большинство детенышей достигает в конце марта – начале апреля (Potelov et al., 2003).

Проблема сезонного питания гренландских тюленей в Белом море изучена недостаточно, несмотря на разноплановые исследования в биологии и экологии тюленей в течение длительного времени. О питании детенышей, сроках начала самостоятельного питания и основных объектах почти ничего не известно. В 1999–2008 гг. были собраны 691 проба питания у детенышей на возрастных стадиях, в том числе: 51 проба (1 проба с остатками пищи, 1.9%) – стадия рваный жакет и 640 проб (29 проб с остатками пищи, 4.5%) – стадия серка. Видовой состав объектов питания гренландского тюленя оказался представлен рыбой и ракообразными, в том числе, Teleostei, Decapoda, Amphipoda, Euphausiacea. Декаподы и рыбы в пробах отмечали единично (до 10–15 шт. в одной пробе), амфиподы и эвфаузииды – в массовом порядке (до 100–150 шт.) (Табл. 2).

У детенышей на стадии рваный жакет в конце марта (1999 г.) в пищеварительных трактах была отмечена белая творожистая масса, смешанная с эмбриональным волосом (остатки т.н. молочной пробки). У серок в марте (2001 г.) в одной пробе был отмечен отолит мойвы. В апреле (2001 и 2007 гг.) пробы с пищей составили 4.3% и 0.8%, соответственно, а в мае (2006 г.) – 9.5%.

Таблица 2

Качественный состав пищи детенышей гренландского тюленя в Белом море

Время	Возрастные группы	Кол-во проб с пищей (шт.)	Объекты питания
Март	Серка	1	<i>Mallotus villosus</i>
Апрель	Серка	16	<i>Themisto sp.</i> , <i>Pandalus sp.</i> , <i>Crangon sp.</i> , <i>Mallotus villosus</i> , <i>Ammodytes marinus</i> , <i>Lycodes sp.(?)</i> *, <i>Eleginus navaga</i>
Май	Серка	8	<i>Themisto sp.</i> , <i>Anonyx nugax</i> , <i>Crangon sp.</i> , <i>Osmerus eperlanus dentex</i> , <i>Mallotus villosus</i>

\*Отолиты плохо сохранились

В Кандалакшском заливе в питании серок единично отмечены донные амфиподы (*Anonyx nugax*), проба из Двинского залива оказалась пустой. Это связано с тем, что появление тюленей весной в прибрежных районах связано с «обратным» дрейфом льдов под действием ветров восточных направлений и является вынужденным.

В Бассейне и Горле качественный состав пищи у серок оказался более разнообразным, чем в заливах. Питание было представлено стайными донно-пелагическими рыбами, пелагическими амфиподами и декаподами, в пробах отмечались амфиподы или амфиподы + креветки, или же только рыба. Амфиподы преобладали (78%), среди рыб доминировали мойва (13,5%) и песчанка (4,5%). Смешанный состав (рыба + ракообразные) был отмечен один раз (Табл. 2).

Полученные материалы по экологии детенышей гренландского тюленя в Белом море позволили сделать следующее заключение. Уменьшение толщины сала на спине и снижение упитанности детенышей гренландского тюленя в апреле, а, в дальнейшем, и в мае, обусловлено адаптацией к водному образу жизни и переходу на самостоятельное питание. Переход детенышей в стадию серка происходит на фоне дальнейших потерь общей массы тела, но только за счет уменьшения подкожных запасов жира. Исследованный адаптивный механизм сохранения запасов подкожного жира позволяет детенышам поддерживать хорошее физическое состояние и, в дальнейшем, дает возможность молодым тюленям успешно совершать летние миграции в поисках пищи.

Исследование пищеварительных трактов детенышей на разных возрастных стадиях показало, что весной в Белом море детеныши начинают питаться на стадии серка, но не сразу, а только в конце апреля. У детенышей на возрастных стадиях, более ранних по времени, пища в пробах отмечена не была. Главными объектами серкам служат массовые виды донно-пелагических рыб и пелагических амфипод. Избирательность в пище, начало питания в определенные сроки говорит о неслучайном характере питания молодых тюленей.

#### Литература

Haug T., Svetochiev V. Seals in the Barents Sea/Manag. Strategies for Com. Marine Species in North. Ecosystems. 10<sup>th</sup> Norw.-Russian Symp., Bergen, Norway. 2004. Pp. 131–148.

Potelov V., Golikov A., Bondarev V. ICES J. of Marine Science. 2003. Vol. 60. P. 1012–1017.

Гренландский тюлень: современный статус вида и его роль в функционировании экосистем Белого и Баренцева морей. Под ред. акад. Г.Г. Матишова/Колл. авторов. Мурманск: ООО «МИП-999». 2001. 220с.

Дорофеев С.В. Современные рыбохозяйственные исследования в морях Европейского Севера. М., «Рыбн. хоз-во». ВНИРО. 1960. С.443–456.

Светочев В.Н., Светочева О.Н. Экология детенышей гренландского тюленя (*Phoca groenlandica*) в ледовый период в Белом море // Докл. Академии наук. 2009. Том 425, №1. С.31–33.

Светочев В.Н., Прищемихин В.Ф., Светочева О.Н., Бондарев В.А. Наставление для полевого определения китообразных и ластоногих в сев.-вост. Атлантике и прилегающих прибрежных водах.//Архангельск: АГТУ. 2003. 56 с.

Myers R.A., Bowen W.D. J.Wildlife Mamange. 1989. 53(2). P.361–372.

## МОНИТОРИНГ МОРСКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ В БЕЛОМ МОРЕ ЛЕТОМ 2007–2008 гг.

О.Н. Светочева

Учреждение Российской академии наук Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра РАН, г. Мурманск, Россия

Малая изрезанность береговой линии Белого моря, отсутствие крупных островных систем обуславливают особенности сезонного распределения тюленей – зимой они встречаются на льдах, летом и осенью – на плаву и на каменистых отмелях. Именно поэтому здесь встречаются преимущественно пагофильные виды: нерпа, морской заяц и гренландский тюлень, а среди китообразных – белуха.

На летнее распределение тюленей и китов влияют кормовые условия – наличие либо отсутствие доступных кормов обуславливает особенности распределения морских млекопитающих с мая по октябрь (Светочева и др., 2007). Основные объекты питания морских млекопитающих – рыба и беспозвоночные. Кольчатая нерпа питается пелагическими и донно-пелагическими рыбой и ракообразными, морской заяц весьма охотно потребляет моллюсков, донных рыб и ракообразных (Светочева, 2005). Пищевые взаимоотношения сложны и многообразны, нерпа и морской заяц имеют одинаковые ареалы, но между ними нет конкуренции. Гренландский тюлень совершает ярко выраженные сезонные миграции – на лето и осень вся 2-х млн популяция тюленей уходит откармливаться в богатое Баренцево море, а с февраля по май тюлени обитают на дрейфующих льдах Белого моря (Дорофеев, 1960; Гренландский тюлень..., 2001). Белуха принадлежит карской популяции, ареалом которой являются Белое, Баренцево, Карское моря и западная часть моря Лаптевых (Матишов, Огнетов, 2006). Благоприятные условия для миграции белухи в Белое море складываются после выноса дрейфующих льдов в апреле-мае. Максимальная численность белухи в Белом море наблюдается в июле, после чего ее численность в море сокращается из-за обратной миграции. Часть популяции остается зимовать в Белом море.

Новые данные о распределении морских млекопитающих, обитающих в Белом море в течение года, были собраны авторами во время береговых экспедиций в 2007–2008 гг.

Гренландские тюлени (*Phoca groenlandica*) на возрастной стадии «серка» в июне 2008 г. были встречены на плаву в Двинском заливе Белого моря в количестве 10–12 особей, животные были слабо упитаны. Поведение тюленей соответствовало кормовому. Такое длительное присутствие молодых гренландских тюленей во внутренних районах Белого моря является нетипичным явлением. В начале июня на 50 км участке Летнего берега (Двинский залив) были зарегистрированы выбросы погибших «серок». По личным сообщениям с мест в отдельных точках выбросы наблюдались с начала мая и были массовыми – до 50 погибших тюленей.

Следует отметить, что в апреле 2006 г. на льду у о. Большой Соловецкий (Соловецкие о-ва) в течение 3 недель находились более 500 гренландских тюленей. Очевидно, что вынужденные задержки, связанные с «обратным» дрейфом ледовых полей являются негативными для молодых гренландских тюленей и могут явиться причиной повышенной смертности среди «серок».

Нерпа (*Pusa hispida*) – постоянный и обычный обитатель Белого моря и наиболее мелкий по размерам среди настоящих тюленей. В июне-июле 2008 г. в результате стационарных наблюдений и пеших обходов побережья были отмечены линные залежки нерпы на выходе из гб. Унская (более

200 особей), кроме того, по устным сообщениям, в районе о. Жижгин и в гб. Конюхова в июне-июле находилось примерно до 1000 и более нерп. На Летнем берегу Двинского залива нерпы отмечались единично. Также единично нерпы встречались у м. Печак в июле 2007 г. (Соловки). Летом у Соловков тюлени периодически подходят на Золотые корги, в гб. Сосновая, Капельская, либо уходят к о. Жижгин, в гб. Конюхова и другие районы Онежского залива. Динамика подходов нерпы к берегам летом и осенью зависит от кормовых условий.

Морской заяц (*Erignathus barbatus*) сопутствует нерпе в ее распределении, в районе Соловков летом 2007 г. тюлени встречались единично. На Летнем берегу в июне-июле 2008 г. были отмечены 8 тюленей на плаву и два мертвых молодых тюленя (погибли, скорее всего, в апреле-мае и были выброшены штормами).

Белуха (*Delphinapterus leucas*) в районе Соловецких о-вов встречается ежегодно, единично или небольшими группами из 2–5 особей, например, в июне 2007 г. у м. Печак наблюдали одиночных белух, а у м. Белуший во время отлива отмечали группировки до 50–100 китов. Приоритеты в выборе того или иного места пока неизвестны, однако очевидно, что большое значение для китов имеют кормовые условия и общее направление миграции.

В прибрежной части Двинского залива (Летний берег) миграционная активность белухи в июне-июле 2008 г. оказалась незначительной (Рис. 1). Общее количество отмеченных белух – 432 особи, было очень небольшим, по сравнению с данными предыдущих лет наблюдений в этом районе (1999–2006 гг.). Динамика подходов белухи у наблюдательного пункта представлена на рис. 4. В июле было отмечено дальнейшее снижение миграционной активности белухи, в то же время в предыдущие сезоны (1999–2007 гг.) количество мигрирующих животных в июле всегда было больше, чем в июне.

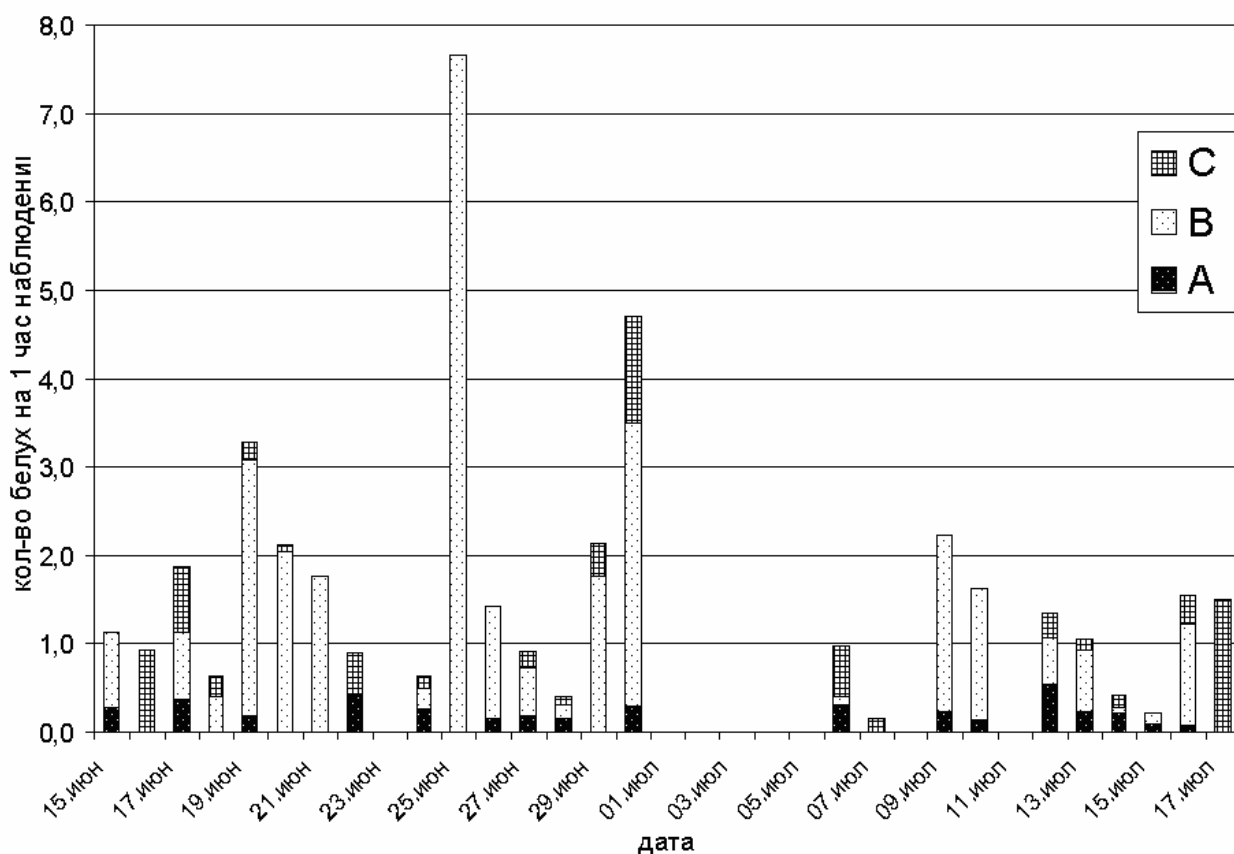


Рис. 1. Миграционная активность белухи. Белое море, июнь-июль 2008 г. А – с юго-востока на северо-запад; В – с северо-запада на юго-восток; С – направление миграции не определено (кормящиеся киты)

Мигрирующие киты двигались на значительном удалении от берега, 200–400 м (за границей 10-м изобаты), что также отличало сезон 2008 г. от предыдущих лет (Рис.2). Вблизи берега (50–100 м) очень редко проходили только одиночные животные. Нетипичное миграционное поведение бе-



лухи не позволило выполнить предполагавшиеся работы по мечению. Все попытки отловить китов на большом удалении от берега оказались неудачными.

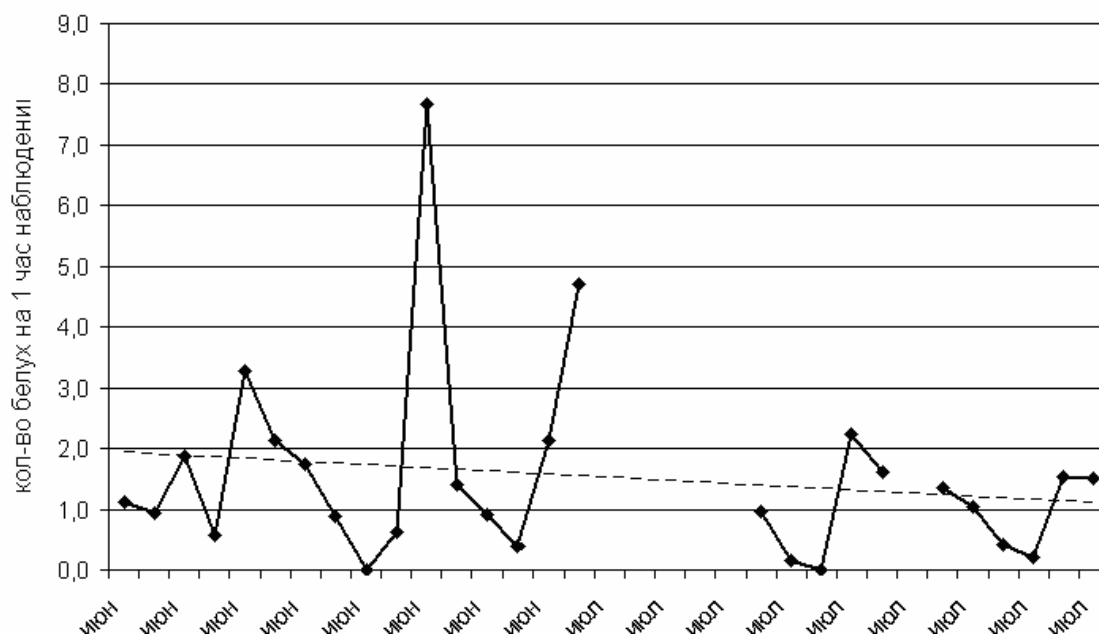


Рис. 2. Динамика подходов белухи в районе наблюдательного пункта «база», Белое море, июнь – июль 2008 г. Курсив – линия тренда.

Таким образом, летнее распределение морских млекопитающих во внутренних районах Белого моря в 2007–2008 гг. в целом соответствует данным, полученным ранее. Особенностью сезона 2008 г. в Двинском заливе была небольшая миграционная активность белухи вдоль берега, а в выбросах на берегу было отмечено значительное количество погибших молодых гренландских тюленей (серок).

#### Литература

Светочева О.Н., Светочев В.Н., Бондарев В.А. Мониторинг нерпы Белого, Баренцева и Карского морей в условиях глобального потепления. Критические параметры и критерии их отбора. – В сб. Проблемы изучения, рац.исп. и охраны прир.ресурсов Белого моря. – Мат-лы X междунар.конф., 18–20 сентября 2007 г., Архангельск. – Архангельск, 2007. – С. 354–358.

Светочева О.Н. Особенности питания нерпы (*Pusa hispida*) костистыми рыбами в Белом море и ее возможное влияние на их запасы. В сб. Мат-лы отчетной сессии СевПИНРО по итогам НИР 2002–2003 гг. –Арх-к, изд-во АГТУ, 2005. С. 293–305.

Дорофеев С.В. Современные рыбохозяйственные исследования в морях Европейского Севера. М., «Рыбн. хоз-во». ВНИРО. 1960. С.443–456.

Гренландский тюлень: современный статус вида и его роль в функционировании экосистем Белого и Баренцева морей. Под ред. акад. Г.Г. Матишова/Колл. авторов. Мурманск: ООО «МИП-999». 2001. 220с.

Матишов Г.Г., Огнетов Г.Н. Белуха *Delphinapterus leucas* арктических морей России//Апатиты: КНЦ РАН, 2006. 296 с.

## СТРУКТУРА И ДИНАМИКА ПРИМОРСКИХ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ ПОМОРСКОГО И КАРЕЛЬСКОГО БЕРЕГОВ БЕЛОГО МОРЯ

Л.А. Сергиенко

Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск, Россия

e-mail: saltmarsh@mail.ru

В условиях современного эвстатического подъема среднего уровня Мирового океана на 1–1,5 мм/год, существенные изменения при подъеме уровня моря произойдут в режиме так называемых буферных зон арктического побережья России – песчаных и илистых осушек, ваттов и маршей, перио-

дически затопляемых во время прилива. Буферные зоны играют большую роль в жизни литорали, с одной стороны, ослабляя воздействие штормов, а с другой – выступая мощными продуцентами органики и живого вещества. Такие буферные зоны широко распространены в заливах Белого моря. В Белом море уже сейчас происходит и ожидается в дальнейшем наиболее интенсивное разрушение восточного берега, особенно на п-ове Канин. В настоящее время берега здесь отступают со скоростью до 5–10 м/год. Западный, Карельский, берег Белого моря, не подвержен существенным переменам в случае ускорения подъема уровня моря. Лишь в Онежской губе Белого моря отмечено вертикальное наращивание приливных осушек со скоростью до 10–12 мм/год (Каплин, Селиванов, 1999).

#### **Основные типы экотопов, характерные для побережья Белого моря:**

##### **Основа – илистый субстрат:**

1. Илистые или песчано-илистые мелководья, ниже уровня малой воды в отлив.
2. Пионерная, наиболее низкая часть ежедневно заливаемой зоны, растения не образуют сомкнутых сообществ, под морской соленой или солоноватой водой находятся до 4-х часов.
3. Низкая – часть берега с мористой и речной (если есть дельта реки) сторон, ежедневно заливаемая морской соленой и солоноватой водой до уровня ежедневного прилива.
4. Средняя, наиболее заросшая часть приморского марша, с выраженными почвенными горизонтами, между уровнями ежедневного прилива и сизигийного, бывающего 2 раза в месяц
5. Высокая часть марша, никогда не заливаемая приливами, а только забрызгиваемая в шторм. Является краевой экотонной маршевой зоной.
6. Эрозионные протоки, расчленяющие «тело» марша на отдельные участки. Могут иметь различный возраст, и, в зависимости от него, имеют различную выработанность берегов, их окаймляющих.
7. На средних и высоких частях маршей отмечаются депрессии разного размера – от нескольких кв. м. до нескольких десятков кв. м. – безводные и не занятые растительностью участки (такыробразные участки); соленые «лужи» – небольшие, заросшие приморскими гигрофитами, водоемы; соленые «озерки» – водоемы с более разнообразной растительностью, и, как правило, имеющие «проточную» связь с морем; соленые «ванны» – водные понижения (до 20 кв. м в отлив) за каменистым береговым намывным валом, ограничивающим акваторию моря от сравнительно высокого каменисто-песчаного берега (при отсутствии реки).
8. На томболо или перейме – участке перемычки, соединяющей бывший остров с материковой частью на больших, заросших монодоминантными сообществами солероса европейского, депрессиях отмечены повышения, представляющие собой русла ручьев, текущих весной, во время паводков, с коренного берега к морю.

##### **На песчаном субстрате.**

9. Береговой пляж.
10. Каменистый невысокий клиф (повышение), уступ берега, спускающийся с морю.
11. Береговой песчаный вал, заросший растительностью.
12. Каменистый береговой вал, заросший растительностью.
13. Береговой ракушечный вал с небольшими водорослевыми штормовыми выбросами.
14. Береговые дюны

Первый, наиболее низкий уровень (луга низкого уровня) занимают участки, подверженные ежедневному затоплению. Береговая зона шириной 15–250 м, почти лишена сомкнутой растительности и представляет собой открытый ил с редким покрытием из водорослевых корочек и пионерного вида *Eleocharis uniglumis* с примесью эндемика Белого моря *Salicornia pojarkovae* (устья южных рек) и *Bolbochoenus maritimus* в более северных точках. В чашеобразных водоемах, удаленных от приливно-отливной зоны, обилен литоральный вид *Hippuris tetraphylla*. Следующая зона встречается относительно узкой полосой шириной от 5 до 20 м. Растительный покров монодоминантен и представлен *Carex subspathacea*, на удалении от берега отмечается примесь *Stellaria humifusa*, *Potentilla egedii*, *Glaux maritima*. Группировка с эдификатором *Carex subspathacea* наиболее характерна для начальной стадии зарастания илистого аллювия и встречается практически вдоль всего побережья Белого моря. Благодаря характеру роста своих вегетативных побегов данный вид устраняет возможность вторжения других видов, придавая данной группировке устойчивость. В более южных точках на илистом аллювии встречается начальная ассоциация эколого-динамического ряда: *Plantago maritima* + *Tripolium vulgare* + *Triglochin maritimum* (рис.1).

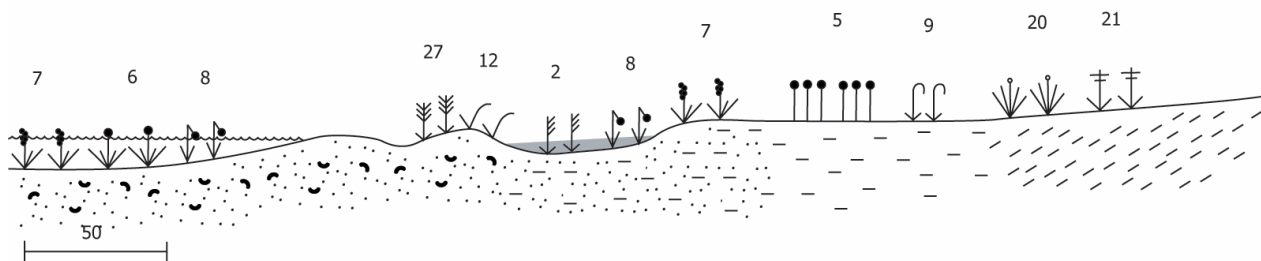


Рис. 1. Эколого-динамические ряды приморской маршевой растительности на побережье Канда拉克шского залива Белого моря

На участках морского побережья, покрытых свежими наносами песка, обычен галофит *Honckenya oblongifolia*, на более удаленных – встречается *Leymus arenarius* и *Festuca ovina*. С течением времени вынесенный песок «разгружается» от солей (состав солеобразующих ионов в приморских песках схож с содержащимися в морской воде:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ ), промывается водами атмосферных осадков, и невысокие песчаные холмы, удаленные от береговой линии, заселяются псаммофитами: *Sonchus humilis*, *Tanacetum bipinnatum*, *Festuca rubra*, *Rumex acetosella*, *Juncus gerardii* (рис.2).

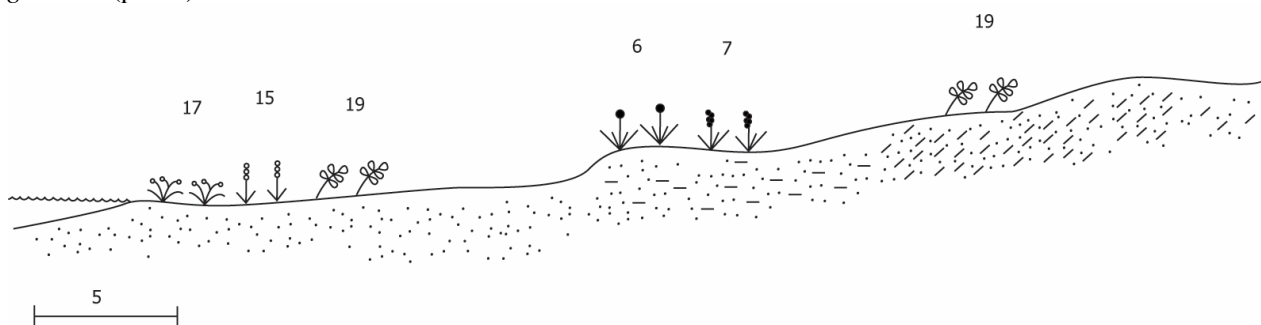


Рис. 2. Эколого-динамические ряды на побережье Белого моря. Песчаный пляж.

Приморские луга среднего уровня составлены мозаикой нескольких растительных сообществ. Данные участки заливаются в наиболее высокие весенние и осенние приливы и изредка в наиболее высокие приливы, вблизи сизигий – новолуния и полнолуния (сизигийные приливы). Флора таких участков на побережье насчитывает 25–30 видов цветковых растений, образующих различные комбинации. Динамические изменения состава флоры в сравнении с 30–40-ми годами прошлого столетия прослеживаются в отношении проникающего в регион *Triglochin palustre*. Помимо *Carex subspathacea* в травяном покрове доминируют также: *Carex mackenziei*, *Stellaria humifusa*, *Plantago maritima*, *Arctanthemum hultenii* и *Potentilla egedii*.

Переход от лугов среднего уровня к лугам высокого уровня проявляется в локальном появлении следов торфонакопления (торфяной горизонт на некоторых участках достигает 5–30 см) и формировании покрова зеленых мхов из *Aulacomnium palustre*, *Drepanocladus uncinatus*, *Bryum* sp. Данные участки не подвергаются затоплению солеными водами, однако могут быть подвержены обрызгиванию солеными водами или пеной. Засоленные песчаные или илистые грунты под слоем торфа перестают быть фактором, определяющим характер растительного покрова. Видами, диагностирующими ассоциацию приморских лугов высокого уровня, являются *Parnassia palustris*, *Rhodiola rosea*. (Сергиенко, 2008).

На скальных берегах на побережье Белого моря приморская растительность размещается в небольших трещинах и в микропонижениях, закономерно изменяясь в связи с уменьшением прямого влияния морских вод. В нижнем поясе скал пионерная растительность представлена несомкнутыми группировками *Salicornia pojarkovae*, *Triglochin maritimum*, *Tripolium vulgare*, *Bolboschoenus maritimus* (рис. 3). Выше их, но тоже в полосе ежедневного прилива, отмечаются сомкнутые сообщества *Triglochin maritimum* + *Carex subspathacea*, *Eleocharis uniglimis*, *Glaux maritima*. Скальная приморская растительность довольно фрагментарна, ее участки перемежаются с приморскими ска-

лами. Средний уровень скал занят плотными дерновинами сообществ *Plantago maritima* + *Juncus gerardii*. Выше представлены сообщества с доминированием *Festuca rubra* и *Sonchus arvensis*.

21

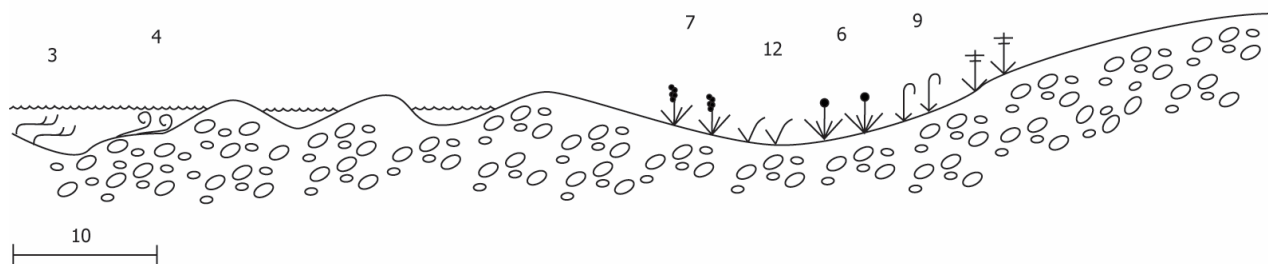


Рис. 3. Эколого-динамические ряды приморской маршевой растительности на скальных берегах западного побережья Белого моря.

- |   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| 1. <i>Salicornia europea</i>                        |  | 25. <i>Dupontia psilosantha</i>         |  |
| 2. <i>Bolboschoenus maritimus</i>                   |  | 26. <i>Arctanthemum hultenii</i>        |  |
| 3. <i>Zostera marina</i>                            |  | 27. <i>Calamagrostis deschampsoides</i> |  |
| 4. <i>Ruppia maritima</i>                           |  | 28. <i>Salix ovalifolia</i>             |  |
| 5. <i>Eleocharis uniglumis</i>                      |  | 29. <i>Carex glareosa</i>               |  |
| 6. <i>Plantago maritima</i> s.l.                    |  | 30. <i>Plantago schrenkii</i>           |  |
| 7. <i>Triglochin maritimum</i>                      |  | 31. <i>Salix reptans</i>                |  |
| 8. <i>Tripolium vulgare</i>                         |  | 32. <i>Carex rariflora</i>              |  |
| 9. <i>Juncus gerardii</i>                           |  | 33. <i>Festuca criophylla</i>           |  |
| 10. <i>Puccinellia maritima</i>                     |  | 34. <i>Carex concolor</i>               |  |
| 11. <i>Puccinellia phryganodes</i>                  |  | 35. <i>Ranunculus tricenatus</i>        |  |
| 12. <i>Carex subspathacea</i>                       |  | 36. <i>Arctophila fulva</i>             |  |
| 13. <i>Potentilla egedii</i> s.l.                   |  | 37. <i>Puccinellia tenella</i>          |  |
| 14. <i>Agrostis straminea</i>                       |  | 38. <i>Rhodiola integrifolia</i>        |  |
| 15. <i>Leymus arenarius</i>                         |  |   |  |
| 16. <i>Leymus villosissimus</i>                     |  |   |  |
| 17. <i>Honckenya oblongifolia</i>                   |  |   |  |
| 18. <i>Mertensia maritima</i>                       |  |   |  |
| 19. <i>Lathyrus japonicus</i> ssp. <i>pubescens</i> |  |   |  |
| 20. <i>Phragmites australis</i>                     |  |   |  |
| 21. <i>Festuca rubra</i>                            |  |   |  |
| 22. <i>Hippuris tetraphylla</i>                     |  |   |  |
| 23. <i>Carex gmelinii</i>                           |  |   |  |
| 24. <i>Stellaria humifusa</i>                       |  |   |  |

Рис. 4. Условные обозначения

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ «Динамика многолетних изменений экосистем побережий Белого моря (Карельский и Поморский берега)» № 08-04-98832-р\_север\_a

### Литература

Каплин П.А., Селиванов А.О. Изменения уровня морей России и развитие берегов: прошлое, настоящее, будущее. М: ГЕОС.1999. С.298.

Сергиенко Л.А. Структура и динамика растительных сообществ приморской маршевой зоны европейской Арктики //Природа шельфа и архипелагов европейской Арктики. Выпуск 8. Материалы международной научной конференции (Мурманск, 9–11 ноября 2008г.). Москва. С. 335–340.

## STRUCTURE AND DYNAMICS OF SALT MARSH COMMUNITIES OF THE POMORIAN AND KARELIAN COASTS OF THE WHITE SEA

L.A. Sergienko

Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia  
e-mail: saltmarsh@mail.ru

In the modern conditions of eustatic rise of average level of the World Ocean on 1–1,5 mm/years, an essential changes at sea rise level will occur{happen} in a regime of buffer zones of the Arctic coast of Russia – sandy and muddy wats and marches, periodically flooding during inflow. Buffer zones play a greater role in a life of littoral zone, on the one hand, weakening influence of storm and with acting as powerful producers of organic chemistry and alive substance. Such buffer zones are widely widespread in gulfs of the White Sea. In Onega Bay of the White Sea vertical escalating of tidal zone with a speed up to 10–12 mm/years (Kaplin, Selivanov, 1999) is noted. The basic types of ecotopes, characteristic for coast of the White Sea are allocated: on muddy substratum (8) and a sandy substratum (6). The brief description of the basic vegetative communities on these ecotopes is given. On a muddy substratum 3 zones of salt marsh communities with the dominants are allocated.

*Work is supported by grant of the Russian Fund for Basic Research «Dynamics of long-term changes of coastal ecosystems of the White sea (Karelian and Pomorian coasts)» 08-04-98832.*

## МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВИДООБРАЗОВАНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ АДАПТАЦИОННЫХ СТРАТЕГИЙ ВИДОВ *R. SOCHLEARIA* L. В ПРИБРЕЖНЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВАХ БЕЛОГО МОРЯ

Л.А. Сергиенко

Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск, Россия  
e-mail: saltmarsh@mail.ru

Изменение разнообразия живой природы – основной и наиболее чувствительный показатель неблагоприятного воздействия человека на окружающую его природу. В последние годы Россия приступила к осуществлению проектов разработки нефтяных и газовых месторождений на шельфе Баренцева моря. При реализации таких масштабных проектов неизбежны значительные и длительные экологические нарушения в толще воды, как в непосредственной близости от объектов нефтепромысла, так и в отдалении от них. В связи с этим, побережья европейской Арктики и полузамкнутого Белого моря, принадлежащего к бассейну Северного Ледовитого океана, несомненно, будут испытывать опасность загрязнения своих экосистем. Поскольку естественная среда обитания видов включает в себя абиотическую и биотическую компоненты, то только на приморской полосе можно проследить как формирование режима среды обитания, так и формирование самих видов.

Нами, начиная с 1972 года, проводилась работа по изучению флоры и растительности береговой зоны, т. е. прибрежной полосы моря со специфическими формами рельефа, а именно: ваттовый берег с маршами, дельты рек, береговые косы и бары. Галофитный флористический комплекс приморской полосы Арктики и сопредельных территорий выделен на основе эколого-ценотического оптимума приморских видов. Низкие температуры, сезонные колебания фотопериодизма в арктическом бассейне являются экстремальными условиями существования для большинства видов растений. При этом малое видовое разнообразие во флористическом комплексе береговой зоны Арктики означает, что эта экосистема легко подвергается разрушению под влиянием глобальных изменений климата. Стратегия существования растений в условиях высоких широт – избежание стрессовых воздействий в

пространстве и во времени, появление новых морфофизиологических признаков, расширяющих экологические возможности видов. Приморские виды, сформировавшиеся и существующие в изменчивых условиях (соленость воды и почвы, приливно-отливные явления, разный механический состав почвы) являются более эврибионтными, чем виды плакорных местообитаний. Поэтому они обладают более широкими параметрами действия регуляторных механизмов, что проявляется в их большей пластичности и большей вариабельности морфологических показателей видовых признаков.

Под основным критерием вида мы понимаем специфичность его морфофизиологической реакции на изменение условий существования, выявляемая при изучении изменчивости вида в пространстве и во времени. Поэтому мы согласны с Р.В. Камелиным, который считает, что видообразование – это процесс глубокого и всестороннего приспособления одной или нескольких популяций предкового вида к новой среде или образу жизни, связанный с изменением положения вида в биогеоценозе (Камелин, 2004). Применение в наших исследованиях морфолого-географического метода показало, что вид – это не только (и не столько) определенный тип структуры и функции, а, прежде всего – множество особей, объединенных в целостное природное образование (Скворцов, 1967).

На примере полиморфного рода *Cochlearia* L. видно, что этот вид, как приспособившийся к суровым климатическим условиям, мог выжить в эпохи оледенения на свободных ото льда участках, расположенных на прибрежной полосе Баренцева моря и только потом распространится на побережья Белого моря. Авторами обработок рода в различных сводках, флорах и конспектах, объем видов, входящих в этот род, понимается по-разному.

Р.Элвен в проекте Панарктическая флора (Pan.Arctic Flora, 2007) в роде *Cochlearia* L. принимает следующие виды и подвиды (написание авторов таксонов дается в авторской редакции Elven'a).

1. *Cochlearia officinalis* L. 1753, Sp. Pl. : 647 – атлантическое побережье Европы, северо-европейское побережье Норвегии и России с тремя подвидами: 1) ***Cochlearia officinalis* L. subsp. officinalis** – двулетник, галофильная раса вида 2) ***Cochlearia officinalis* L. subsp. norvegica** Nordal & Stabbetorp – двулетник, слабогалофильная раса вида 3) ***Cochlearia officinalis* L. subsp. integrifolia** (Hartm.) Nordal & Stabbetorp – многолетнее хионофильное, негалофитное растение, предпочитающее переувлажненные местообитания.

2. *Cochlearia groenlandica* L. Sp. Pl. 647 (1753) – ***Cochlearia officinalis* L. subsp. groenlandica** (L.) A.E.Porsild, 1957, Bull. Natl. Mus. Canada 146: 92. – циркумполярный арктический вид, облигатный галофит.

3. *Cochlearia lenensis* Adams ex Fisch., in: DC. 1821, Syst. Nat. 2: 367. Вид описан из северной Якутии, из эстуария р. Лена. Слабый галофит.

4. *Cochlearia arctica* Schltld. in: DC., 1927, Syst. Nat. 2: 367 – ***Cochlearia officinalis* L. subsp. arctica** (Schltld.) Hultén, 1928, Fl. Kamtchatka 2: 147, с двумя подвидами: *Cochlearia arctica* Schltld. subsp. *arctica* и *Cochlearia arctica* Schltld. subsp. *oblongifolia* (DC.) V.V.Petrovsky, 1975, в Аркт. фл. СССР, 7 : 159. – ***Cochlearia oblongifolia* DC., 1821, Syst. Nat. 2: 363 – *Cochlearia officinalis* L. subsp. oblongifolia** (DC.) Hultén, 1928, Fl. Kamtchatka 2: 147. – оба подвида являются облигатными галофитами.

По данным В. В. Петровского (Арктическая флора СССР, Вып.7., 1975), род *Cochlearia* L. представлен на побережье европейской Арктики двумя близкородственными видами: *C. groenlandica* L. и *C. arctica* Schlecht. ex DC, состоящим из 2 подвидов: subsp. *arctica* и subsp. *oblongifolia* (DC.) Petrovsky.

А.В.Кравченко (Кравченко, 2007) в «Конспекте флоры Карелии» для рода *Cochlearia* L. принимает только 2 приморских вида – *C. arctica* Schlecht. ex DC. [*C.officinalis* subsp. *arctica* (Schlecht. ex DC.) Hult., *C.officinalis* subsp. *norvegica* Nordal. & Stabbetore] с распространением на всем побережье Карелии и *Cochlearia officinalis* L. (*C.groenlandica* auct. non L.) – со спорадическим распространением на севере Карелии.

Проведенное нами исследование этих таксонов: морфометрический анализ признаков ряда органов растений, просмотр гербарного материала из российской и зарубежной Арктики, изучение живых растений в Арктике в различных экологических условиях, исследование ультраструктуры поверхности семян – привело нас к выводу о недостаточности признаков названных растений, использованных в «Арктической флоре СССР», в которой основной упор сделан на форму роста и структуру вегетативных органов. Между тем, основные различия между растениями состоят в строении чашелистиков, плодов и семян, а также в ультраструктуре поверхности семян.

Приводим краткую синонимику принимаемых нами видов, краткое описание отличительных признаков и данные по их экологии.

1. *C. arctica* Schlecht. ex DC. 1821, Reg. Veg. Syst. Nat. 2 : 367; Н. Буш, 1939, во Фл. СССР, 8 : 568; Побед. 1969, Новости сист. высш. раст. 6 : 89; Петровский, 1975, в Аркт. фл. СССР, 7 : 158. – *C. lenensis* Adams et Fisch. 1821, in DC. Reg. Veg. Syst. Nat. 2 : 367; Н. Буш, 1939, цит. соч. : 569. – *C. officinalis* subsp. *arctica* (Schlecht.) Hult. 1928, Fl. Kamtch. 2: 147; id. 1968, Fl. Al. : 499.

Мезогалофит, характерный для растительных сообществ приморской полосы; выносит сильное кратковременное хлоридное засоление почвы на первичных маршах; отмечается также в умеренно увлажненных местообитаниях на известьсодержащих субстратах. У *C. arctica* чашелистики лиловатые, стручочки невздутые, семена яйцевидные, рыжеватые, в числе 14–16; ультраструктура поверхности семени в виде мелкоскладчатых конических, плотно (но не рядами) расположенных пологих бугорков с углублением на верхушке.

2. *C. oblongifolia* DC. 1821, Reg. Veg. Syst. Nat. 2 : 363; Н. Буш, 1939, во Фл. СССР, 8 : 569. – *C. arctica* subsp. *oblongifolia* (DC.) Petrovsky, 1975, в Аркт. фл. СССР, 7 : 158.

Мезогалофит, растущий на приморских косах и барах, по берегам непроточных засоленных озер на вторичных маршах, реже в зоне контакта первичных маршей с коренным берегом, отмечается также на береговых торфах. У *C. oblongifolia* чашелистики почти прозрачные, стручочки вздутые, семена яйцевидные, реже яйцевидно-шаровидные, темно-бурые, в числе 10–15; ультраструктура поверхности семени в виде мелкоскладчатых, параллельно расположенных рядов вытянутых пологих выступов без углубления на верхушке.

3. *C. groenlandica* L. 1753, Sp. Pl. : 647; Н. Буш, 1939, во Фл. СССР, 8 : 570; Петровский, 1975, в Аркт. фл. СССР, 7 : 160. – *C. officinalis* L. subsp. *arctica* (Schlecht.) Hult. 1928, Fl. Kamtch. 2 : 147, p. p.; id. 1968, Fl. Al. : 499, p. p. – *C. polaris* Pobed. 1969, Новости сист. высш. раст. 6 : 99.

Эвгалофит, выносящий высокую степень хлоридного и хлоридно-сульфатного засоления почвы; растет в зоне активной седиментации на вторичных маршах приморских баров и кос, на щебнистом субстрате клифов и птичьих базаров. У *C. groenlandica* чашелистики беловатые с широкими прозрачными краями, стручочки вздутые, семена шаровидные, реже яйцевидно-шаровидные, светло-рыжие, в числе 8–12; ультраструктура поверхности семени имеет вид очень плотно расположенных мелкоскладчатых чешуек.

Все названные признаки рассмотренных таксонов являются выдержанными, что дает нам основание считать (Сергиенко, 1989, 2008) *C. oblongifolia* самостоятельным видом, а не подвидом *C. arctica*.

### Литература

- Камелин Р.В. Лекции по систематике растений. Главы теоретической систематики растений. «Азбука»: Барнаул. 2004. 228 с.
- Кравченко А.В. Конспект флоры Карелии. Карельский научный центр РАН. Петрозаводск.. 2007. 403 с.
- Сергиенко Л.А. Заметки о некоторых арктических приморских видах Чукотского полуострова // Нов. сист. высш. раст., Л: Наука. 1989. Т. 26. С.185–188.
- Сергиенко Л.А. Флора и растительность побережий Арктики и сопредельных территорий. Петрозаводский государственный университет. Петрозаводск. 2008. 225 с.
- Скворцов А.К. Становление современного понимания вида // Совещание по объему вида и внутривидовой систематике. Л. Наука. Ленинград. 1967. С. 16–18.
- Шипунов А.Б., Абрамова Л.А. Изменение флоры островов Кемь-Лудского архипелага (1962–2004) // Бюлл. МОИП. Отд. биол. Т.111. Вып.1. С.45–56.
- Интернет-ресурс: <http://www.binran.ru/projects/paf/index.htm> – Проект Панарктическая флора.

## MORPHOLOGICAL ASPECT OF SPECIATION IN GENUS COCHLEARIA L. IN SALT MARSH COMMUNITIES OF COASTAL ZONE OF WHITE SEA.

L.A. Sergienko

Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia  
e-mail: saltmarsh@mail.ru

Only in the conditions of coastal zone it is possible to reveal the formation both the environments and the species occurrence. Halophyllous floristic complex of Arctic is allocated on the basis of ecological-coenotic optimum of coastal species. We understand its specificity as the basic criterion of a morpho-

physiological reaction of species to change of conditions of their existence, revealed during studying their variability in space and in time.

On an example of polymorphic species *Cochlearia* L. it is visible, that this species as adapted to severe climatic conditions, could survive during glaciations on places, free from ice, located on coastal zone of Barents sea and only then will extend on the White sea coasts.

We accept 3 species in genus *Cochlearia* L.

1. *Cochlearia arctica* Schlecht. ex DC. 1821, Reg. Veg. Syst. Nat. 2 : 367; sepals lilac-tinged, small pods non volumetric, seeds egg-formed, reddish, size 14–16mm.

2. *Cochlearia oblongifolia* DC. 1821, Reg. Veg. Syst. Nat. 2 : 363; sepals almost transparent, small pods volumetric, seeds egg-formed, less often egg-spherical, dark-brown, size 10–15 mm.

3. *Cochlearia groenlandica* L. 1753, Sp. Pl.: 647; sepals albescent with wide transparent edges, small pods volumetric, seeds spherical, less often eggs-spherical, bright -red, size 8–12 mm.

## РАЗНООБРАЗИЕ ТРОФИЧЕСКИХ ГРУПП ПРОКАРИОТ ПЕТРОЗАВОДСКОЙ ГУБЫ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА

Н. А Сидорова

Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск, Россия

e-mail: vanlis@petrsu.ru

Согласно первому постулату Виноградского, «функции микробов в природе специализированы; для каждой работы есть свой специалист, приспособивший к ней весь химизм своего существования», каждый путь обслуживается своей функциональной группой организмов. Аэробные и факультативно-анаэробные органотрофы очень разнообразны и представляют группу, привлекающую более всего внимания на уровне чистых культур бактерий. Своеобразие экологических и климатических особенностей конкретного региона вызывает развитие в водных экосистемах определенных микробных сообществ органотрофов, состоящих из различных функциональных групп микроорганизмов, которые имеют специализированные наборы ферментов, что даёт им возможность использовать те или иные вещества для питания. Органическое загрязнение служит легкодоступным питательным субстратом для гетеротрофных бактерий, поэтому при увеличении органики в водоемах происходит резкое увеличение соответствующей трофической группы микроорганизмов [2, 3]. Увеличение количества микробных клеток, как правило, предшествует изменению химического состава воды. Учитывая этот факт, можно предположить, что органотрофы являются чувствительными индикаторами органического загрязнения и изменения трофического статуса водоема.

С этой точки зрения считается актуальным исследование разнообразия гетеротрофных бактерий и установления их функциональной активности в стратегической зоне Петрозаводской губы Онежского озера.

Отбор проб для бактериологических исследований проводили ежемесячно в течение 2008–2009 гг по стандартным методам [4] с глубины 0, 5 м с акватории рек Неглинка, Лососинка и Петрозаводской губы Онежского озера. Состав и объём экологических исследований был определён, исходя из требований соответствующих нормативных документов и стандартов.

Пробы воды для определения качества бактериопланктона отбирали в стерильные бутылки с площадью захвата 0,15 м<sup>2</sup>, глубиной до 2 см. – данный слой, наиболее богатый микрофлорой. Пробы хранили в холодильнике до обработки в стационарных условиях. Прямой счет бактерий в пробах воды проводили с использованием иммерсионной микроскопии, численность микроорганизмов – методом предельных разведений на элективных средах. Для исследования активности и численности органотрофов использовали МПБ, для углеводородокисляющих – среду Диановой-Ворошиловой, для сульфатредуцирующих – среду Кравцова-Сорокина, для фенолоокисляющих – среду Егоровой, для олиготрофов – МПА:10. Накопительные культуры бактерий получали на МПА. Интенсивность утилизации углеводов, фенолов и сульфатов оценивали по интенсивности роста на специализированных средах суточных культур трофических групп бактерий.



На первом этапе исследования были получены сведения об особенностях пространственного распределения и количественных изменениях основных групп органотрофного бактериопланктона. В зависимости от степени органического загрязнения района исследования, численность гетеротрофных бактерий сильно варьировала от 0,9 до 26,2 тыс.кл/мл (табл. 1).

Сапрофитные микроорганизмы являлись доминирующей группой на всех станциях отбора проб. Кроме того, численность сапрофитов всегда превышала таковую олиготрофных бактерий. Это может свидетельствовать о преобладании в исследованной акватории легкодоступного органического вещества над устойчивым к микробной деградации. Наиболее вероятным источником его поступления в акваторию являются промышленные и хозяйственно-бытовые стоки.

Таблица 1

**Оценка степени загрязнения исследованных водоёмов по МУ  
«Охрана природы. Гидросфера. РД 52.24.309-92»**

Класс качества вод	Степень загрязнения	Общее количество бактерий, тыс.кл/мл	Количество сапрофитных бактерий, тыс.кл/мл
III Петрозаводская губа	умеренно-загрязнённые	102,4	0,9
IV Неглинка	загрязнённые	120,7	3,5
V Лососинка	грязные	163,0	26,2

С помощью анализа частоты встречаемости определённых групп органотрофов была построена схема взаимоотношений трофических групп в микробном сообществе Петрозаводской губы Онежского озера (табл. 2).

Таблица 2

**Тандемы органотрофов**

Пара микробиологических параметров	р.Неглинка	р. Лососинка	Петрозаводская губа
Углеводородокисляющие-Сапрофитные	++	++	+++
Углеводородокисляющие-Фенолоокисляющие	++++	++++	+
Сапрофитные – Олиготрофные	+	+	+

+ – частота встречаемости пары микробиологических параметров

Полученные связи могут быть обусловлены сравнительно стабильными и благоприятными условиями для развития микрофлоры, что связано с притоком органического вещества и биогенных элементов с речными водами. Сказалось и почти полное отсутствие перемешивания вод в значительной части исследуемой акватории, обусловленное малыми глубинами. Обнаружение этих связей может свидетельствовать как об эвригетеротрофности бактериопланктона (т.е. о его способности к росту, как на бедных, так и на богатых органических средах), так и о том, что способность к росту на питательных средах, независимо от их состава, определяется состоянием микробного сообщества в конкретной акватории [1]. Отсюда следует, что с ростом численности жизнеспособных бактерий в любой акватории возрастает и величина той части их популяции, которая способна к окислению определенного трофического субстрата. Сульфатредуцирующие бактерии были обнаружены на границе кислородной и бескислородной зон. Наибольшая их численность (127 кое/мл) зафиксирована в поверхностных слоях иловых отложений реки Неглинка.

На втором этапе исследования изучалась функциональная активность органотрофов – способность использовать нефть, фенолы и сульфаты в качестве единственного источника углерода и энергии. Для этого эксперимента были использованы чистые культуры углеводородокисляющих, фенолоокисляющих и сульфатредуцирующих бактерий, выделенных из акватории Петрозаводской губы Онежского озера. Термостатирование выделенных культур проводили при температуре 21<sup>0</sup> С. Высокие температуры термостатирования (37<sup>0</sup> С) игибировали

рост культур. В качестве контроля использовалась стерильная агаризованная среда. Наиболее активно росли углеводородокисляющие бактерии на средах с добавлением нефтепродуктов – до 82 %. Существенный обильный и умеренный рост наблюдался при добавлении фенола (56 %) и сульфатов (31%).

По результатам исследования получены следующие выводы:

1. С акватории Петрозаводской губы Онежского озера и рек Неглинка и Лососинка выделены 3 трофические группы органотрофов: углеводородокисляющие, фенолоокисляющие и сульфатредуцирующие бактерии.

2. Определено количественное разнообразие органотрофов, которое зависит от лимнологических показателей, трофического статуса водоема и концентрации загрязнителя.

3. По бактериологическим показателям установлена степень загрязнения водоемов: Петрозаводская губа отнесена ко II классу качества вод – умеренно-загрязненному, река Неглинка к IV классу – загрязнённые воды, река Лососинка к V классу – грязные воды.

4. По трофическому разнообразию реки Неглинка, Лососинка, Петрозаводская губа Онежского озера – идентичны и состояли из 4 ассоциаций трофических групп. Разная частота встречаемости трофических тандемов определяется качеством и концентрацией органического субстрата.

5. Наибольшая интенсивность утилизации углеводов установлена на элективных средах с добавлением нефтепродуктов. Интенсивность утилизации зависит от температуры – при 37<sup>0</sup>С – ингибируется, а при 21<sup>0</sup>С – активируется.

Выполненные эксперименты по индексации аборигенных штаммов органотрофов можно положить в основу разработки биотехнологии по очистке холодноводных ресурсов с низкими скоростями самоочищения от углеводов, фенолов и сульфатов.

#### Литература

Ильинский В.В., 2000. Гетеротрофный бактериопланктон: экология и роль в процессах естественного очищения среды от нефтяных загрязнений: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. М.: МГУ. 53 с.

Куликова И.Ю. Микробиологическая оценка вод Северного Каспия в условиях освоения месторождений углеводородного сырья. Электронный научный журнал «ИССЛЕДОВАНО В РОССИИ» <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2005/118.pdf>.

Миронов О. Г. 1970. О роли микроорганизмов, растущих на нефти, в самоочищении и индикации нефтяного загрязнения в море// Океанология. Т.10, № 5. С. 820–827.

Родина А. Г. 1965. Методы водной микробиологии. М.–Л.: Наука. 347 с.

### BIODIVERSITY IN PROCARYOTIC TROPHIC GROUPS OF PETROZAVODSK BAY OF ONEGO LAKE

N. A. Sidorova

Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia  
e-mail: fagafon@sampo.ru

Aerobic and facultative anaerobic organotrophs are very diverse and represent the group that attracts much attention of microbiologists at the level of pure cultures of aquatic bacteria. Organotrophs community is specific to a particular environmental area, they show selectivity to the nutrient substrate, are sensitive to anthropogenic stress in the environment; organotrophs diversity depends on limnological indicators, the trophic status of the reservoir and the concentration of pollutants. During prokaryotes trophic communities examining in Petrozavodsk Bay of Lake Onega we isolated pure cultures of hydrocarbon-oxidizing, phenol-oxidizing and sulphate-reducing bacteria. We investigated the functional activity of isolated organotrophs at different temperatures of cultivation. The highest intensity of hydrocarbon utilization was set at a temperature of 21<sup>0</sup> C on elective media with the addition of oil products. Results in indexing the Lake Onego organotrophs can be used for developing cold water purification biotechnology to clean cold water resources with a low-speed hydrocarbons, phenols and sulphates self-purification.

## ВОПРОСЫ САНИТАРНОГО НОРМИРОВАНИЯ ПРЕСНОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ СЕВЕРА С ПОМОЩЬЮ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ТЕСТОВ

Н. А. Сидорова<sup>2</sup>, А. Н. Паршуков<sup>3</sup>

Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск, Россия

<sup>2</sup> Институт биологии Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск  
e-mail: fagafon@sampo.ru, eco-logya@mail.ru

Санитарная микробиология возникла в 1888 году, когда французский врач Е. Массе предложил учитывать наличие кишечной палочки в воде в качестве показателя фекального загрязнения. Современная санитарная микробиология – раздел медицинской микробиологии, изучающий микроорганизмы, содержащиеся в окружающей среде и способные оказывать неблагоприятное воздействие на состояние здоровья человека.

Приоритетной задачей санитарной микробиологии является охрана окружающей среды, т.к. на основе закономерностей взаимодействия человека с окружающей средой, разрабатываются научно обоснованные рекомендации по сохранению здоровья человека.

Для оценки санитарного состояния окружающей среды, в том числе и водных объектов, используют количественные и качественные микробиологические показатели. В обязательном порядке контролируются санитарно-показательные микроорганизмы (СПМ), обнаружение которых является косвенным показателем биологической контаминации исследуемого водоема патогенными микроорганизмами. Превышение нормативов по допустимому содержанию санитарно-показательной микрофлоры свидетельствует о возможном присутствии тех или иных патогенных микроорганизмов.

К СПМ поверхностных водоемов относятся:

- Сапрофиты – мезофильные аэробные и факультативно анаэробные бактерии. Количество колоний образующих единиц (КОЕ) соответствует степени загрязнения воды органическими веществами. Поэтому общее количество сапрофитов рассматривают как косвенный показатель санитарного состояния воды.

При выборе нового источника водоснабжения или водопользования для рекреационных, водохозяйственных или рыбохозяйственных нужд необходимо определять две группы сапрофитов: 1) вырастающих при температуре 20 – 22<sup>0</sup>С в течение 48 ч, 2) вырастающих при температуре 37<sup>0</sup>С в течение 24 ч. При температуре 20<sup>0</sup>С вырастает большее количество сапрофитов и именно они являются наиболее активными участниками процесса самоочищения водоёма. В местах большого загрязнения сточными водами численное значение обеих групп сапрофитов близко, поэтому динамика численности этого показателя является чувствительным индикатором загрязнения водоёмов, особенно органическими веществами.

- БГКП – бактерии группы кишечной палочки. К БГКП относят различных представителей семейства *Enterobacteriaceae*, родов *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Klebsiella* и др. Это грамотрицательные (Гр(-)), не образующие спор палочки, сбраживающие лактозу с образованием кислоты и газа при 37 ± 0,5<sup>0</sup> С в течение 24 – 48 ч или сбраживающие глюкозу с образованием кислоты и газа при 37 ± 0,5<sup>0</sup> С в течение 24 ч и не обладающие оксидазной активностью. По международной классификации такие микроорганизмы относятся к общим колиформным бактериям (ОКБ). Они попадают в воду с испражнениями человека и животных, поэтому обнаружение их свидетельствует о фекальном загрязнении и эпидемической опасности в отношении кишечных инфекций.

Дополнительным критерием эффективности минерализации органического загрязнения в водоемах может служить общее число и процент спорообразующих бактерий. В чистых водах их число составляет 20–50% от общего количества бактерий, в загрязненных – этот показатель значительно снижается.

Для оценки санитарного и экологического статуса водоемов, испытывающих влияние рыбохозяйственных предприятий, была изучена количественная и качественная динамика СПМ воды.

Выбранные водоемы отличались по срокам функционирования форелевых хозяйств (Ф/Х): на акватории первого водоёма находилось Ф/Х со сроком функционирования 1 год; на акватории второго водоёма находилось Ф/Х со сроком функционирования 3 года; на акватории третьего водоёма было расположено Ф/Х со сроком функционирования 10 лет.

Результаты бактериологических исследований представлены в таблицах 1–3.

Таблица 1

Санитарно-экологическая оценка водоема №1

Показатель	Среда выделения	КОЕ/мл	Соотношение параметров	Характеристики показателя
			МАФАнМ=1:11,6	
сапрофиты 37°C за 24 ч	МПА	22	В водоеме активно идут процессы самоочищения, доминируют представители автохтонной микрофлоры	аллохтонная микрофлора – представители теплокровных (человек, животные)
сапрофиты 21°C за 48 ч	МПА	256		представители автохтонной микрофлоры – участники процесса самоочищения

Таблица 2

Санитарно-экологическая оценка водоема №2

Показатель	Среда выделения	КОЕ/мл	Соотношение параметров	Характеристики показателя
			МАФАнМ=1:2,25	
сапрофиты 37°C за 24 ч	МПА	4	В водоеме идут процессы самоочищения, но численность бактерий очень низкая	аллохтонная микрофлора – представители теплокровных (человек, животные)
сапрофиты 21°C за 48 ч	МПА	9		представители автохтонной микрофлоры – участники процесса самоочищения

Таблица 3

Санитарно-экологическая оценка водоема №3

Показатель	Среда выделения	КОЕ/мл	Соотношение параметров	Характеристики показателя
			МАФАнМ=1:2	
сапрофиты 37°C за 24 ч	МПА	1	В водоеме идут процессы самоочищения, но численность бактерий очень низкая	аллохтонная микрофлора – представители теплокровных (человек, животные)
сапрофиты 21°C за 48 ч	МПА	2		представители автохтонной микрофлоры – участники процесса самоочищения

Во всех случаях был отмечен рост БГКП на мембранных фильтрах (среда Эндо). Споровые бактерии (132 КОЕ) встречались только в пробах с водоема №1.

Полученные данные свидетельствуют о том, что водоем форелевого хозяйства, функционирующего около 1 года более благоприятен по санитарно микробиологическим показателям, чем водоемы хозяйств, действующих уже более 1 года. Численность бактериопланктона в воде зрелых хозяйств очень низкая, обусловленная активной деятельностью самого хозяйства (антропогенный стресс). Следует особенно уделить внимание этому, поскольку дальнейшая эксплуатация может негативно повлиять на трофический статус, вызвать снижение интенсивности самоочищения и повлиять на эпидемический и эпизоотический статус водоемов № 2 и 3.

### Литература

МУК № 13-4-2/1738. Санитарно-бактериологическая оценка рыбохозяйственных водоемов. М., Минсельхозпрод России. 1999.

Унифицированные методы исследования качества вод. Часть IV. Методы микробиологического анализа вод. М., СЭВ, 1975.

# DETERMINATION OF SANITARY RATE SETTING PROBLEMS IN NORTHERN FRESH-WATER ECOSYSTEMS BY MEANS OF MICROBIOLOGICAL TESTS

N. A. Sidorova<sup>1</sup>, A. N. Parshukov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia

<sup>2</sup> Institute of Biology, Karelian Research Centre of Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk

e-mail: fagafon@sampo.ru, ecologya@mail.ru

Karelia has a vast network of trout farms using fish cages. Reservoirs where they are located undergo anthropogenic stress. As a result it can cause different negative effects on the inhabitants and mans health as well due to increased activity of pathogenic microflora.

Microbial natural strains that can affect mans health directly or indirectly become the sanitary microbiology objects to study their value. Ecological and sanitary status of a reservoir can be examined by the use of microbiological tests very quickly and effectively.

Investigation of the samples from three fish farms indicated that trout reservoir functioning about one year appears to be safer in sanitary-microbiological characteristics than reservoirs operating more than one year.

## ИЗБИРАЕМАЯ ТЕМПЕРАТУРА МОЛОДИ СТЕРЛЯДИ *ACIPENSER RUTHENUS* L.

А.К. Смирнов

Учреждение Российской академии наук Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Ярославская обл., Россия

e-mail: smirnov@ibiw.yaroslavl.ru

### Введение

Многолетние эксперименты по изучению поведения рыб в гетеротермальной среде показывают, что рыбы, как и многие другие группы живых организмов, способны к самопроизвольному выбору оптимальных температурных условий среды. Температуру, которую они выбирают в термоградиентной установке после предоставления градиентных условий, принято называть избираемой (предпочитаемой), а диапазон температур на стабильном участке выбора – конечной избираемой температурой (Голованов, 1996; Свирский, 1996; Beitinger, Fitzpatrick, 1979; Reynolds, Casterlin, 1979 и др.).

Конечная избираемая температура является некоторой устойчивой характеристикой для каждого отдельно взятого вида. То есть, это та температура, в которой особи данного вида сосредотачиваются независимо от своего температурного прошлого. Однако она зависит от ряда биотических и абиотических факторов (сезона года, фотопериода, времени суток, возраста животных, степени насыщения, заболевания, особенностей социального поведения и др.) (Голованов, 1996; Лапкин и др. 1981; McCauley, Huggins, 1979; Zdanovich, 2006 и др.). Также следует различать избираемую температуру, определяемую в кратковременных (минуты, часы, сутки) и длительных экспериментах (от 3–4 суток и более). Если первая отражает лишь определенную стадию переходного процесса, то вторая, называемая конечной избираемой (окончательно предпочитаемой) температурой, отражает эколого-физиологический оптимум для каждого конкретного вида (Голованов, 1996; Ивлев, 1958; Свирский, 1996; Jobling, 1981.).

Целью данного исследования было определение конечной избираемой температуры у сеголетков стерляди.

### Материал и методы

Экспериментальный материал был получен из рыбоводного хозяйства в Ярославской области на стадии икры. После выклева молодь выращивалась в течение четырех месяцев в аквариумных условиях. На момент эксперимента средняя длина рыб составляла  $12.6 \pm 0.5$  см, средняя масса  $7.3 \pm 1.0$  г. В зависимости от стадии развития молодь в процессе выращивания кормили планктоном, личинками хирономид и комбикормом.

Эксперимент проводили в горизонтальном температурном градиенте, прозрачном лотке из оргстекла размерами  $300 \times 20 \times 15$  см. С одного конца лотка была расположена нагревательная камера с авто-

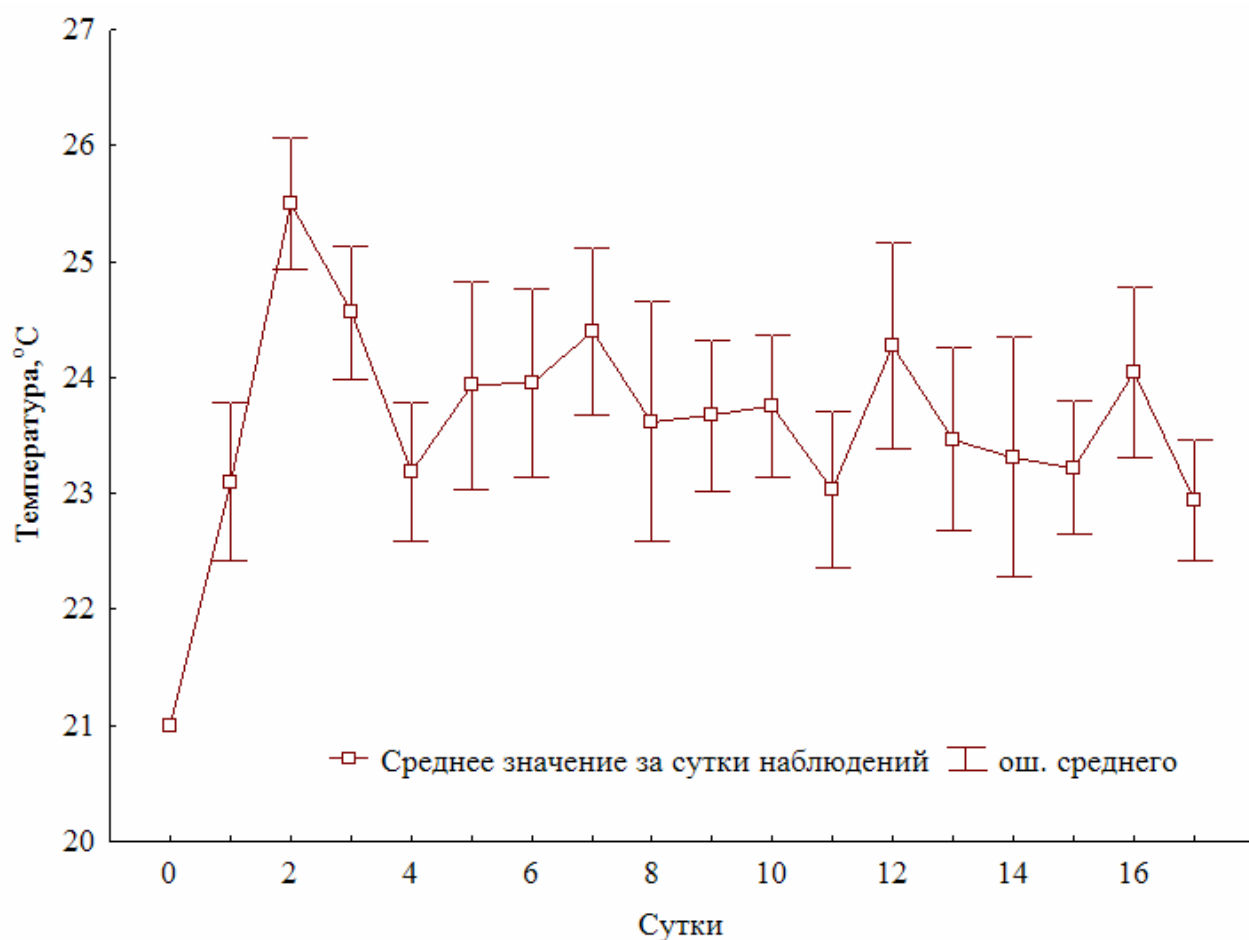
матически регулируемой системой нагрева. С другого конца – располагалась холодильная камера, также оборудованная автоматической системой терморегуляции. Для получения равномерного горизонтального градиента температур, уменьшения конвекционных токов и устранения вертикального градиента установка разделялась 11 неполными перегородками на 12 камер, в каждой из которых за счет придонного расположения аэраторов происходило интенсивное вертикальное перемешивание воды. Предоставляемый интервал температур составил 17°C (от 15 до 32°C), при жесткости градиента 0.06°C/см. Температуру измеряли с помощью ртутных термометров, расположенных в каждой камере.

Наблюдения проводились ежедневно 4 раза в течение светлого времени суток, записывалось число рыб в отсеке и температура. На основании полученных данных проводился расчет среднесуточной избираемой температуры. В течение эксперимента рыб кормили личинками хирономид и рыбным комбикормом. Всего было исследовано 6 особей.

Для обработки результатов эксперимента использовался статистический пакет STATISTICA.

### Результаты и обсуждение

После посадки молоди стерляди в температурный градиент было отмечено ее перемещение по отсекам в сторону повышения температур (рис.). Так, через три часа с начала эксперимента все рыбы ушли из отсека, в который были посажены (температура 21°C), и расположились в отсеках с температурами от 23 до 27°C. А через 5 ч с начала опыта 80% рыб сосредоточились в отсеке с температурой 24°C. Спустя 10 ч после посадки молодь рассредоточилась по отсекам с температурами от 21 до 28°C, средняя избираемая температура составила 24.2°C.



Зависимость температуры, избираемой сеголетками стерляди, от времени пребывания рыб в температурном градиенте

На вторые сутки эксперимента молодь достаточно широко распределилась по отсекам термоградиента. Наблюдалось посещение отсеков с температурами от 17 до 30°C. Средняя избираемая температура на вторые сутки эксперимента составила 23.3°C. Третьи сутки эксперимента отмети-

лись ростом среднего значения избираемых температур до максимума 25.5°C. Как и в предыдущие сутки, молодь распределилась по градиенту достаточно широко, и в течение суток отмечалась в отсеках с температурами от 17 до 30°C. Однако максимальное число посещений зарегистрировано в отсеках с температурами 24 и 26°C.

После отмеченного максимума избираемой среднесуточной температуры произошло достоверное ( $p < 0.05$ ) снижение ее значений в течение последующих двух суток до 23.2°C. При дальнейших наблюдениях было отмечено незначительное колебание значений избираемых температур в диапазоне от 23.1 до 24.3°C в течение 11 суток. Средняя избираемая температура за период с 5 дня и до конца эксперимента составила  $23.6 \pm 0.2^\circ\text{C}$ . Следует отметить также, что в течение всего опыта молодь активно перемещалась по градиенту, посещая отсеки с температурами от 16°C до 30°C.

Установленная в ходе эксперимента поведенческая реакция молоди стерляди на температурный градиент была отмечена ранее для леща, плотвы, карпа, серебряного и золотого карася, окуня, сибирского осетра и целого ряда других видов рыб (Голованов, 1996; Голованов и др., 2000; Лапкин и др., 1979; Свирский, 1996). Переходный процесс, в течение которого рыбы сравнительно быстро перемещаются из акклимационных температур в более высокие (низкие), причем со значимым превышением последующих избираемых температур, носит название реакции избыточного реагирования (овершута).

Сходные реакции рыб различных видов на температурный градиент указывают на общность протекающих у них адаптационных процессов. Попад в неоднородную по температуре среду, рыбы начинают продвижение в зону с оптимальной температурой, при этом в их организме запускаются быстрые адаптационные механизмы. Запуск таких механизмов позволяет им уже за 1–2 сут достичь зоны оптимума. Однако, как правило, после быстрого достижения зоны оптимума в эксперименте рост значений избираемых температур продолжается на некую величину, называемую величиной перерегулирования (Лапкин и др., 1979; Свирский, 1996). Дальнейшее снижение и затухание колебаний значений избираемых температур около зоны оптимума происходит в течение определенного временного отрезка, определяющегося окончательным завершением акклимационных процессов.

Незначительные колебания значений средней суточной избираемой температуры в течение 11 суток, не превышающие 1.2°C, позволяют сделать вывод, что молодь стерляди в ходе эксперимента достигла так называемой конечной избираемой температуры. Следует отметить, что в ходе эксперимента молодь активно посещала практически все отсеки термоградиента. Если в течение первых суток молодь держалась компактной группой и находилась в одном или близлежащих отсеках, то в дальнейшем она несколько рассредоточилась по градиенту, не образуя скоплений более 2 особей в одном отсеке. Возможно, это связано с относительно небольшим объемом отсеков термоградиента по сравнению с размерами рыб. Посещение молодю в течение периода наблюдений практически всех отсеков градиента, вероятно, вызвано проявлением элементов ее поискового и пищевого поведения.

Полученное нами значение конечной избираемой температуры хорошо согласуется с данными других исследователей. Так, ранее, на примере непродолжительных (2–4 сут.) опытов было показано, что сытая молодь стерляди массой 1.3–1.5 г избирает температуру 23.0°C, а голодная – от 20.1°C до 22.9°C (Zdanovich, 2006). Кормление молоди в нашем эксперименте проводили ежедневно, что обусловило достаточно близкие результаты (разница  $< 1^\circ\text{C}$ ) по сравнению с сытой стерлядью из экспериментов данного автора. По данным Голованова В.К с соавторами, у несколько более крупных сеголетков сибирского осетра (длиной от 140 до 150 мм, массой от 18 до 31 г) конечные избираемые температуры были несколько ниже – от 20.8 до 22.7°C.

Если сравнить конечную избираемую температуру молоди стерляди с таковой для некоторых видов рыб умеренной полосы, то она несколько ниже. Так, например, конечные избираемые температуры молоди леща, плотвы и окуня аналогичного возраста составляют 27°C, 26.0 и 25.8°C соответственно (Лапкин и др., 1981). По всей видимости, это связано с тем, что места обитания стерляди приурочены, как правило, к русловым участкам водоемов и придонным слоям воды. Температура воды на данных участках обычно заметно ниже температуры воды верхних слоев и прибрежья.

### Заключение

Экспериментально, в условиях горизонтального градиента, оценена конечная избираемая температура сеголетков стерляди. Выявлена общность адаптационных реакций молоди стерляди с другими видами рыб в ответ на температурный градиент. Установленное значение окончательной

избираемой температуры ниже такового для некоторых карповых и окуневых видов, что, вероятно, связано с придонным образом жизни молоди данного вида.

#### Литература

- Голованов В.К. 1996. Эколого-физиологические аспекты терморегуляционного поведения пресноводных рыб // Поведение и распределение рыб. Докл. 2-го Всероссийск. совещ. «Поведение рыб». Борок. С. 16–40.
- Голованов В.К., Гречанов И.Г., Маврин А.С., Обухова В.М. 2000. Термопреферендум сибирского осетра *Acipenser baeri* Brandt // Тез. докл. Международн. конф. «Осетровые на рубеже XXI века», Астрахань. Изд-во КаспНИРХ. С. 136–138.
- Ивлев В.С. 1958. Эколого-физиологический анализ распределения рыб в градиентных условиях среды // Тр. совещ. по физиол. рыб. М., С. 288–296.
- Лапкин В.В., Сопов Ю.Н., Свирский А.М. 1979. Избираемая температура и температура акклимации рыб // Зоол. журн. Т.58. Вып.11. С. 1659–1670.
- Лапкин В.В., Свирский А.М., Голованов В.К. 1981. Возрастная динамика избираемых и летальных температур // Зоол. журн. Т. 60. Вып. 12. С. 1792–1801.
- Свирский А.М. 1996. Поведение рыб в гетеротермальных условиях // Поведение и распределение рыб. Докл. 2-го Всероссийск. совещ. «Поведение рыб». Борок. С. 140–152.
- Beitinger T.L., Fitzpatrick L.C. 1979. Physiological and ecological correlates of preferred temperature in fish // Thermoregulation in ectotherms. Symp. Richmond. Amer. Zool. Vol. 19. № 1. P. 319–329.
- Jobling M. 1981. Temperature tolerance and the final preferendum – rapid methods for the assessment of optimum growth temperature // J. Fish. Biol. Vol. 19. № 4. P. 439–455
- McCauley R.W., Huggins N.W. 1979. Ontogenetic and non-thermal seasonal effects on thermal preferenda of fish // Thermoregulation in ectotherms. Symp. Richmond. 1978 / Amer. Zool. V. 19. № 1. P. 267–271.
- Reynolds W.W., Casterlin M.E. 1979. Behavioral thermoregulation and the «final preferendum» paradigm // Amer. Zool. Vol.19, № 1. P.211–224.
- Zdanovich V.V. 2006. Alteration of thermoregulation behavior in juvenile fish in relation to satiation level // J. Ichthyology. Suppl. 2. P. S188–S193.

#### PREFERRED TEMPERATURE IN YOUNG STERLET *ACIPENSER RUTHENUS* L.

A.K. Smirnov

Papanin Institute for the Biology of Inland Waters RAS, Borok, Yaroslavl reg., Russia.  
e-mail: smirnov@ibiw.yaroslavl.ru

Final preferred temperature of sterlet juveniles was determined experimentally in the horizontal thermal gradient. Its value was reached after a transitional period (5 days from the beginning of the experiment) and was  $23.6 \pm 0.2^\circ\text{C}$  on average with the range of fluctuations from  $23.1$  to  $24.3^\circ\text{C}$  during 11 days. The pattern of sterlet juveniles' adaptive reactions in response to thermal gradient was found to be similar with other fish species. Obtained value of final preferred temperature was lower than that of some cyprinid and percid species inhabiting the same waterbodies. Apparently, this is due to the fact that this species inhabits the near-bottom horizons.

#### ФЕНОМЕН ПРЕАДАПТАЦИИ ЖИРНОКИСЛОТНЫХ СОСТАВОВ ЛИПИДОВ У ЭКТОТЕРМНЫХ ОРГАНИЗМОВ РАЗНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Л.П. Смирнов, В.В. Богдан

Учреждение Российской академии наук Институт биологии  
Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск, Россия  
e-mail: leo@bio.krc.karelia.ru

Температура является важнейшим абиотическим фактором среды, адаптация к которому у живых организмов осуществляется через реализацию различных физиолого-биохимических механизмов. В отличие от гомойотермных животных, особенности метаболизма которых позволяют поддерживать достаточно стабильные термические условия внутренней среды (эндотермия), у пой-



килотермных животных отсутствует метаболическая регуляция температуры тела и они полностью зависимы от температуры внешней среды (эктотермия). В процессе эволюции у эктотермных организмов сформировался комплекс приспособительных механизмов, позволяющий им поддерживать жизненные функции не только в значительном термическом диапазоне, но и при резких колебаниях температуры. Одним из них является преадаптация, которую Е.М. Крепс называет «эволюционной адаптацией» (Крепс, 1984), а П. Хочачка и Дж. Сомеро – «генетической адаптацией» (Хочачка, Сомеро, 1988). Преадаптация – первый этап адаптации, сразу обеспечивающий выживание организма при смене условий обитания или образа жизни (Huxley, 1942). На субклеточном уровне этот феномен определяется как генетически детерминированный качественный состав и количественные соотношения молекул, которые позволяют поддерживать функциональную метаболическую стабильность в клетке (энантиостаз по определению Хочачки и Сомеро, 1988) при резком изменении силы действия того или иного фактора.

Одним из важнейших механизмов температурных адаптаций эктотермных организмов являются качественные и количественные компенсаторные изменения в составе жирных кислот мембранных липидов, направленные на элиминацию или ослабление критических фазовых переходов в липидах, которые могли бы нарушить жидкокристаллическую структуру мембран и, соответственно, осуществление клетками их жизненных функций.

Сравнение жирнокислотных спектров бактерий *Vibrio anguillarum*, взятых из разных географических зон, выявило различия, которые обусловлены, по-видимому, температурными условиями существования предковых штаммов. Несмотря на то, что в наших экспериментах все образцы были выращены в изотермическом режиме, в бактериальных мембранах штаммов, выделенных из тканей рыб и воды в субтропической зоне (Геленджик), выявлено достоверно больше насыщенных жирных кислот, в основном за счет пальмитиновой, чем в таковых бактерий из северных регионов. В спектрах штаммов, собранных в Выборге и Мурманске, прослеживается тенденция к увеличению уровня полиеновых кислот в липидах, в основном за счет эйкозатриеновой (20:3) кислоты. Полученные результаты дают основание предполагать, что ненасыщенность мембран вибрионов, определяемая количественным соотношением насыщенных и ненасыщенных кислот, генетически закрепились в процессе эволюционной адаптации тех или иных штаммов *V. anguillarum* к температурному фону окружающей среды.

Анализ жирнокислотного состава липидов мембран лизосом и суммарных липидов у *Eubothrium crassum* (от холоднокровного хозяина) показал очень высокий уровень сходства между ними по количественному распределению жирных кислот, в то время как спектры жирных кислот мембран и общих липидов у *Diphyllbothrium dendriticum* имеют существенные различия. Так, в липидах лизосом лентецов по сравнению с общими липидами обнаружено на 5,4% больше насыщенных кислот и в 1,5 раза – моноеновых. Общая доля насыщенных и моноеновых кислот в мембранах лизосом составляла 71,1%, в то время как в суммарных липидах не превышала 55%. Кроме того, в тотальных липидах *D. dendriticum* (от теплокровного хозяина) выявлено в 1,4 – 2,2 раза больше диеновых, тетраеновых, пента- и гексаеновых кислот, чем в лизосомальных. Расчет коэффициента ненасыщенности (отношение суммы насыщенных к сумме ненасыщенных кислот) показал, что общие липиды в 2 раза более ненасыщенны, чем липиды лизосомальных мембран.

Ранее нами (Смирнов, Богдан, 1997) была выявлена преадаптация жирнокислотного состава липидов у личинок некоторых видов цестод к температуре окончательного теплокровного хозяина. Обнаруженный феномен можно объяснить тем, что в процессе эволюции у гельминтов, цикл которых связан с последовательной сменой сред, резко различающихся по температуре, возникла преадаптация количественных соотношений жирных кислот у тех стадий паразитов, которые переходят из среды с низкой температурой в среду с высокой и наоборот, причем смена термических условий происходит скачком, например, плероцеркоид – имаго, имаго – яйца. Поэтому не удивительно, что доля ненасыщенных жирных кислот в общих липидах имагинальных стадий дифиллоботриумов явно превышает уровень, необходимый для нормальной жизнедеятельности в теплокровных хозяевах.

Как известно, в цепи осуществления процессов жизнедеятельности критическим моментом для каждого вида рыб является размножение, поскольку из всех физиологических процессов оно имеет наименьший полигон толерантности, то есть успешно протекает только в условиях незначительных колебаний температуры (Бигон и др., 1989; Голованов и др., 1997). Если в период нереста, а затем развития икры и выклева личинок происходит изменение термических условий в водоемах,

которое выходит за верхнюю или нижнюю границы диапазона температур размножения, специфического для того или иного вида, то полноценное воспроизводство становится невозможным (резко возрастает число погибших эмбрионов, усиливается тератогенез), что вне всякого сомнения приводит к значительному снижению численности формирующегося поколения. Надо полагать, что температура размножения рыб – это таксономическая характеристика, закрепившаяся на генетическом уровне в процессе эволюционного становления. Для подтверждения этого постулата рассмотрим температурные условия нереста некоторых видов сем. *Cyprinidae*. Хотя плотва (*Rutilus rutilus* L.), сазан (*Cyprinus carpio* L.) и его одомашненная форма – карп обитают в умеренных широтах Европейской части России в температурном интервале от 0 до 25–38°, тем не менее, нерестятся при разных температурах. Так, у плотвы нерест начинается, когда температура воды достигает 4–8°, а у карпа нижний термический порог – 15–18° (Голованов, и др. 1997). Эти данные указывают на то, что виды, термический диапазон нереста и эмбриогенеза которых расположен в зоне более высоких температур, вряд ли могут заселить пространства с более низкими температурами, господствующими в регионах на нерестовый период. Например, в озерах и реках республики Карелия семейство карповых представлено достаточно широко (19 видов), тем не менее многие виды, оптимум зоны нерестовых температур которых лежит в интервале 16–22° (карась, линь, густера, карп (Мельянцева, 1974)), весьма редки и встречаются только в водоемах ее южной части, на границе с Ленинградской областью. Исходя из этих сведений можно предположить, что специфика границ термотолерантности того или иного вида рыб определяется генетически запрограммированными особенностями биохимического строения и метаболических процессов, связанными, в частности, с соотношением насыщенных и ненасыщенных кислот в тканевых мембранных липидах. По уровню насыщенных, пента- и гексаеновых кислот икра лосося отличалась от икры трех видов теплолюбивых карповых рыб (карпа, пестрого толстолоба, белого амура) (Болгова и др., 1981), что скорее всего связано с температурными особенностями размножения. Это предположение в какой-то мере подтверждается результатами изучения жирнокислотного состава икры плотвы и карпа. Выяснилось, что состав жирных кислот в липидах икры плотвы, нерестящейся при +7–8°C, более ненасыщен, чем таковой икры карпа (нерестовая температура – +16–22°), что и следовало ожидать, исходя из аксиомы о соответствии жирнокислотных спектров организма температурным условиям существования его клеток (Проссер, 1964; Hazel, 1973). Ненасыщенность липидов в икре плотвы поддерживается за счет более высокой концентрации таких полиеновых кислот, как арахидоновая (20:4 $\omega$ 6), эйкозапентаеновая (20:5) и докозагексаеновая (22:6), уровень которых был в 1,4 – 4 раза выше, чем в икре карпа. В свою очередь ненасыщенность липидов икры карпа определяется более высоким уровнем менее ненасыщенных – эйкозодиеновой (20:2) и эйкозатриеновой (20:3) кислот. Доля кислот линоленового ряда ( $\omega$ 3) в икре плотвы была в 1,4–1,7 раза выше чем у карпа. Рост концентрации  $\omega$ 3 кислот в условиях обитания при более низких температурах показан на икре других видов рыб (Сидоров, 1983; Болгова и др., 1985). У обоих видов рыб переход от преднерестовой стадии зрелости икры к нерестовой сопровождался однонаправленными изменениями в жирнокислотном составе липидов, связанными с увеличением содержания пента- и гексаеновых, а также  $\omega$ 3 кислот (у плотвы – 20:5 и 22:6, а у карпа – 20:5 и 22:5 кислоты). Интересно отметить, что этот процесс происходил на фоне роста температуры окружающей среды, то есть в данном случае мы сталкиваемся с парадоксом, на который впервые обратил внимание А. Коссинс (Cossins, 1977), обнаруживший рост концентрации докозагексаеновой (22:6) кислоты в синаптосомальных мембранах золотой рыбки при повышении температуры окружающей среды. Этот феномен можно объяснить с позиций учета разной степени зависимости геометрических размеров углеводородного радикала жирной кислоты от температуры. Теоретические расчеты показали, что коэффициент линейного расширения полиеновой цепи зависит от термических условий тем слабее, чем больше степень ненасыщенности (Рипатти и др., 1985). У докозагексаеновой кислоты этот показатель практически нулевой (почти в 100 раз меньше, чем у линолевой и насыщенных кислот). Из этих данных следует допущение, что длинноцепочечные полиненасыщенные кислоты (в особенности с 22 углеродными атомами в алифатической цепи), расширяют диапазон термотолерантности, что очень важно для эктотермного организма, размножающегося в весьма нестабильных температурных условиях, свойственных окружающей среде, например, у рыб, нерестящихся на незначительных глубинах. В частности, нерест плотвы происходит весной в литорали, и можно наблюдать его практически у самого уреза воды. В период эмбрионального развития большой размах суточного хода температуры может представлять

большую опасность для оплодотворенных яйцеклеток, в особенности это актуально для теплолюбивых рыб (карп). Поэтому рост уровня длинноцепочечных полиеновых кислот в липидах икры по мере ее созревания имеет очевидную адаптивную природу, как способ нивелировки негативного влияния скачков температуры, то есть расширяет диапазон термотолерантности половых продуктов, что в конечном итоге повышает шансы у зародышей успешно пройти стадию эмбриогенеза.

Существует еще один аспект адаптивных изменений жирнокислотного состава липидов икры, на первый взгляд не менее парадоксальный, чем увеличение концентрации длинноцепочечных полиненасыщенных кислот с ростом температуры, который заключается в том, что в условиях одинаковых температур липиды генеративных тканей могут заметно отличаться от таковых соматических тканей по содержанию пента- и гексаеновых кислот. Этот факт выявлен нами при сравнительном анализе жирнокислотных составов соматических и генеративных тканей карпа. В отличие от предыдущего вида, карп (одомашненная форма сазана) – теплолюбивая рыба, которая, как отмечено выше, не размножается, если температура воды в нерестовый период ниже 17°. На широте Москвы в прудах рыбоводных хозяйств такие условия обычно бывают не раньше конца мая – начала июня. В марте, когда температура воды в прудах держится на в пределах 3–5°, уровень пента- и гексаеновых кислот в липидах соматических тканей не превышает 16–18%. Физиологическим следствием падения доли этих кислот до необычно низких, на первый взгляд, значений, носящих очевидный адаптивный характер, является малоподвижность и пребывание в состоянии полуанабиоза, которое достаточно четко определялось по уровню дыхания и частоте сердечных сокращений (Дьяконов, Бабаев, 1985). В апреле зимовальный период заканчивается, температура воды приближается к 10°. Карп начинает активно двигаться, питаться и готовиться к нересту. Степень зрелости половых продуктов достигает V стадии. Относительная концентрация пента- и гексаеновых кислот в липидах мышц и гепатопанкреаса увеличивается в 1,6–1,7 раза, достигая 26–32% от общей суммы кислот. В то же время доля этих кислот в липидах икры не превышает 15%, что явно не отвечает термическому режиму, в котором карп пребывает в апреле, а соответствует температуре размножения. Данные, приведенные в табл. 2 показывают, что в нерестовой икре (VI стадия) не происходит заметных изменений в количественных соотношениях жирных кислот по сравнению с предыдущей стадией, в частности, доля пента- и гексаеновых кислот увеличивается всего на 1,5%. Исходя из полученных результатов, можно предположить, что в Подмоскowie карп уже в апреле почти готов к нересту, но температура тормозит этот процесс до тех пор, пока не поднимется до нижней границы термотолерантности размножения. Эти результаты, на наш взгляд, свидетельствуют о существовании у карпа феномена преадаптации жирнокислотных спектров липидов генеративных тканей к температуре размножения.

Нами дополнительно были проведены расчеты по данным, полученным на лососе из рек бассейна Онежского озера (Болгова и др., 1981), которые показали определенные отличия по уровню пента- и гексаеновых кислот между гонадами с одной стороны и печенью и мускулатурой – с другой. Для лучшего понимания сути обсуждаемого феномена следует коснуться некоторых сторон биологии этого вида. У лосося Онежского озера миграция из озера в реки начинается в мае и в июне уже около ≈ 70% стада переселяется в реки (Смирнов, 1971). Температура воды в этом месяце в среднем составляет 10–12°. В августе вода в реках прогревается до 15–20°, а гонады у рыб имеют IV стадию зрелости половых продуктов. Нерест же начинается в октябре, но при одном условии – термический режим на акватории нерестилища не должен превышать 5–6°.

Относительная концентрация пента- и гексаеновых кислот в печени и мускулатуре лосося в июне (в более холодных условиях) была выше, чем в августе (в 2,1 и 1,6 раза соответственно), то есть по этим тканям мы не наблюдаем отклонения от аксиомы Проссера и Хейзела (Проссер, 1964; Hazel, 1973). Между тем, уровень пента- и гексаеновых кислот в образцах икры, взятых в августе в 1,6 раза превышал таковые печени и мышц. Из этого следует, что если в печени и мышцах наблюдается акклимация мембранных структур клеток к температуре воды через изменение количественных соотношений пента- и гексаеновых кислот в липидах, то созревающая икра нечувствительна к температуре (в пределах видового полигона термотолерантности). В ней идет процесс накопления этих кислот в соотношениях, которые необходимы для последующей реализации программы эмбрионального развития, протекающего в узком диапазоне термических условий, специфичном для лосося (4–6°).

Следовательно, в процессе развития икры как у теплолюбивого вида (карп), так и холодолюбивых (лосось, плотва), количественный состав жирнокислотных радикалов липидов формируется в

соотношениях, которые соответствуют диапазону термотолерантности размножения, и в определенной степени не зависит от реальных температурных условий, существующих на момент развития. Это свидетельствует в пользу существования у рыб феномена преадаптации половых продуктов к температуре размножения, специфичной для того или иного вида.

Таким образом, проведенные нами исследования на бактериях, гельминтах и рыбах показывают, что температурная преадаптация на уровне липидов, является, по-видимому, достаточно широко распространенным явлением в мире эктотермных организмов.

*Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ «Ведущие научные школы Российской Федерации» – 306. 2008.4; программы Российской Академии Наук «Биологические Ресурсы 2009–2011», программы Российской Академии Наук «Биоразнообразие-2009».*

#### Литература

- Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К., 1989. Экология особи, популяции и сообщества. / Пер с англ. М.: Мир. Т. 1. 667 с.
- Болгова О.М., Рипатти П.О., Сидоров В.С., 1981. О жирнокислотном составе икры некоторых видов рыб // Сравнительные аспекты биохимии рыб и некоторых других животных. Петрозаводск : Карельский филиал АН СССР. С. 113–115.
- Болгова О.М., Ефимова Е.Н., Лазарева И.П., Богдан В.В., Нефедова З.А., Гурьянова С.Д., 1985. Жирнокислотный состав кормов карпа // Биохимия молоди пресноводных рыб. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР. С. 23–27.
- Голованов В.К., Свирский А.М., Извеков Е.И., 1997. Температурные требования рыб Рыбинского водохранилища и их реализация в естественных условиях // Современное состояние рыбных запасов Рыбинского водохранилища. Ярославль: ИБВВ РАН. С. 92–116.
- Дьяконов Ю.Н., Бабаев Н.С., 1985. Дыхание и деятельность сердца молоди рыб в период зимовки // VI Всесоюзная конференция по экологической физиологии и биохимии рыб. Вильнюс. С. 69.
- Крепс Е.М., 1981. Липиды клеточных мембран. Л.: Наука. 339 с.
- Мельянцева В.Г., 1974. Рыбы (Животный мир Карелии). Петрозаводск: «Карелия». 120 с.
- Смирнов Л.П., Богдан В.В., 1997. Влияние термошока на липидный состав плероцеркоидов некоторых цестод // Паразитология. Т. 31, вып. 6. С. 543–551.
- Проссер К.Л. 1964., Акклимация к холоду метаболических процессов и центральной нервной системы у рыб // Клетка и температура среды. /Пер с англ. М.: Мир. С. 84–209.
- Рипатти П.О., Рабинович А.Л., Богдан В.В. 1985., Докозагексаеновая кислота – температурный стабилизатор биомембран // Биохимия молоди пресноводных рыб. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР. С. 27–33.
- Сидоров В.С. 1983., Экологическая биохимия рыб. Липиды. Л.: Наука. 240 с.
- Смирнов Ю.А. Лосось Онежского озера. Биология, воспроизводство и пользование. Л.: Наука. 1971. 143 с.
- Хочачка П., Сомеро Дж. 1988., Биохимическая адаптация. М.: Мир. 568 с.
- Cossins A.R., 1977. Adaptation of biological membranes to temperature. The effect of temperature acclimation of goldfish upon the viscosity of synaptosomal membranes // Biochim. biophys. Acta. Vol. 470. P. 395–411.
- Hazel J.R., 1973. The regulation of cellular function by temperature induced alterations in membrane composition // Eff. Temp. Ectothermic Organisms. Berlin. P. 55–67.
- Huxley J., 1942. Evolution. The modern synthesis. L.: Allen and Unwin. 213 p.
- Lovern J.A., 1942. The composition of the depot fats of aquatic animals // Great Britain Dep. Sci. Industr. Res. Food Invest. Board Spec. Rep. Vol. 51. P. 72.

#### СОЛЕНОСТНЫЙ ТОЛЕРАНТНЫЙ ПОЛИГОН *ASTERIAS RUBENS* L. 1758 (ECHINODERMATA: ASTERIIDAE)

А. О. Смуров, А. Ю. Комендантов

Учреждение Российской академии наук Зоологический институт РАН,  
г. Санкт-Петербург, Россия, e-mail: aral4@zin.ru

Общепринятой тенденцией настоящего времени следует признать дополнение диагнозов видов сведениями по их экологии. Экспериментальные исследования по отношению видов к отдельным факторам среды часто проводятся с целью уточнить возможности их распространения.

Методы получения подобных видовых характеристик и представления данных очень разнообразны. Одним из наиболее разработанных и часто применяемых способов оценить границы существования популяций и видов являются температурные толерантные полигоны.

В 1942 году было впервые предложено для характеристики отношения вида к экологическим факторам использовать толерантные полигоны (Fry et al., 1942). Для их построения необходимо отразить на графике зависимость верхней и нижней границ толерантности от условий акклимации для всего диапазона значений фактора, при которых возможна акклимация. Фактически толерантный полигон отражает не только зависимость толерантности от условий акклимации, но и зону потенциальной толерантности. Потенциальный толерантный диапазон можно определить как диапазон значений фактора, к которым можно акклимировать организм.

Полигон толерантности, как правило, имеет форму трапеции или параллелограмма. Графики, построенные для определенного фактора, обладают «устойчивостью», сохраняя свою форму даже в случае взаимодействия нескольких факторов (McLeese, 1956).

Сходная форма графика была получена как при исследовании температурной толерантности рыб и беспозвоночных (Fry et al., 1946; Hart, 1952; McLeese, 1956), так и для характеристики солёностной толерантности моллюсков (Khlebovich, Kondratenkov, 1973; Хлебович, 1981; Филиппов, 2004), многощетинковых червей (Смуров, Комендантов, 2008) и инфузорий (Smurov, Fokin, 2001). Если количество известных в настоящее время температурных полигонов разных видов более ста, то число видов с известными солёностными полигонами очень мало и явно недостаточно для проведения адекватного сравнительного анализа.

Целью настоящей работы было построить и проанализировать солёностный толерантный полигон *A. rubens*. Дополнительно, мы обсуждаем применимость метода анализа полигонов для предсказания распространения вида в естественном солёностном градиенте.

### Материал и методы

Работа была выполнена в августе 2005 г. на Беломорской биологической станции им. О. А. Скарлато Зоологического института РАН. Морские звезды *A. rubens*, стандартизованные по размеру, были собраны в бухте Круглой Чупинской губы Кандалакшского залива Белого моря на илисто-песчаной литорали. Сразу после сбора животные были помещены в аквариумы с аэрируемой морской водой солёностью 25 ‰, которые располагались в изотермической комнате при температуре  $10 \pm 1^\circ\text{C}$ . Вода сменялась ежедневно. Звезды были использованы в работе через две недели после сборов и адаптации к аквариальным условиям. Солёности определялись с помощью рефрактометра-солемера Atago S/Mill. Экспериментальные среды готовились разведением морской воды пресной или выпариванием.

Животные, акклимированные к солёностям вне первоначального толерантного диапазона, были получены с помощью сдвига толерантных границ в результате акклимации. После окончания акклимации, длившейся три недели, для всех величин солёности акклимации были определены толерантные границы.

Оценка значений солёностных толерантных границ проводилась разработанным нами оригинальным методом. Организмы в количестве 5 экз. помещались в пластиковые контейнеры объемом 2 л с различными тестовыми солёностями. Тестовые солёности готовились с интервалом 2.5 ‰. Ежедневно в течение двух недель определялось количество живых звезд в каждом микроаквариуме. Критерием смерти животных служило отсутствие реакции на укол иглой.

Солёность, в которой выживало 100 % исследуемых организмов в течение 14 дней, считалась принадлежащей толерантному диапазону. Соответственно, за оценку толерантной границы, принимали середину интервала между максимальной (в случае определения верхней границы толерантного диапазона) солёностью, при которой выживало 100 % организмов, и следующей за ней минимальной летальной солёностью, при которой гибли все особи. В случае определения нижней границы поступали аналогичным образом. Для оценки значений толерантных границ были использованы животные, акклимированные к 15, 20, 25, 30, 35 и 40 ‰. Полученные данные позволили оценить потенциальный солёностный толерантный диапазон и построить солёностный толерантный полигон.

На основании полученных оценок толерантных границ был построен солёностный толерантный полигон *A. rubens*. Оценку достоверности коэффициентов линейной регрессии и коэффициентов корреляции программы STATISTICA 6.0 для WINDOWS.

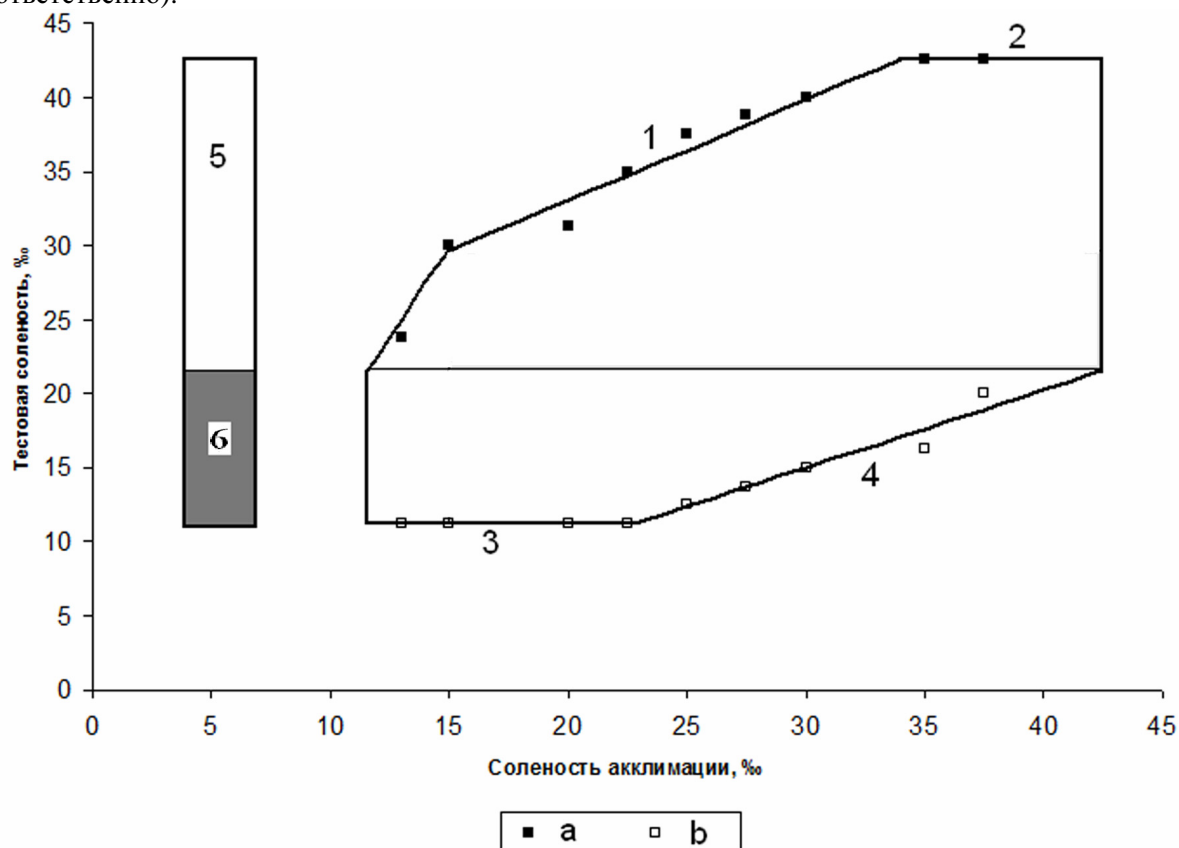
## Результаты

Соленостный толерантный полигон *A. rubens*, имеет семиугольную форму (Рис.). Верхняя толерантная граница резко возрастает при изменении солености акклимации от 12.5 до 15 ‰, затем линейно возрастает в диапазоне 15–34 ‰ до достижения потенциальной толерантной границы. Формула для наклонной линии верхней пороговой солености  $S_t = (19,46 \pm 1,66) + (0,678 \pm 0,065) \times S_a$  ( $n=7$ ),  $r = 0.98$ , где  $S_t$  – значение верхней толерантной границы,  $S_a$  – соленость акклимации, имеет достоверные коэффициенты при уровне значимости ( $p < 0.01$ ).

Горизонтальная линия нижней пороговой солености располагается в диапазоне солености акклимации от 12.5 до 22.5 ‰, а наклонная линия нижней пороговой солености в диапазоне от 22.5 до 42.5 ‰. Формула наклонной линии нижней пороговой солености:  $S_t = (-0,55 \pm 2,03) + (0,518 \pm 0,067) \times S_a$  ( $n=6$ ),  $r = 0.97$  имеет достоверный угловой коэффициент ( $p < 0.01$ ) и не достоверный свободный коэффициент ( $p > 0.05$ ).

Общая площадь соленостного толерантного полигона у *A. rubens* равна 804,2188 ‰<sup>2</sup>. Верхняя зона зависящая от солености акклимации равна 589,2188 ‰<sup>2</sup>, нижняя – 215 ‰<sup>2</sup>. Это составляет 73,23 % и 26,67 % от общей площади полигона соответственно. Зона тестовых соленостей, не зависящая от акклимации, у этого вида отсутствует.

При анализе полигона линейным методом выделяются диапазоны соленостей: нижний, зависящий от акклимации – 11.25–21.5 ‰, верхний, зависящий от акклимации 21.5–42.5 ‰ (Рис.). Доли каждого диапазона по отношению к диапазону потенциальной соленостной толерантности (11.25–42.5 ‰) незначительно отличаются от оценок полученных методом площадей (32.8 % и 67.2 % соответственно).



Соленостный толерантный полигон *A. rubens*

a – черные квадраты – верхняя толерантная граница; b – светлые квадраты – нижняя толерантная граница; 1 – наклонная линия верхней пороговой солености; 2 – горизонтальная линия верхней пороговой солености; 3 – горизонтальная линия нижней пороговой солености; 4 – наклонная линия нижней пороговой солености; 5 – верхняя зона тестовых соленостей, зависящая от акклимации; 6 – нижняя зона тестовых соленостей, зависящая от акклимации.

## Обсуждение результатов

Терминология и методы анализа, используемые для описания типичного (шестиугольного) температурного толерантного полигона разработана ранее Бейтингером и Беннетом (Beitinger, Bennet, 2000). Часть графика, соответствующая отклику в тестовых температурах в зависимости от температуры акклимации, состоит из двух линий. Диагональная линия соответствует верхней пороговой температуре. При возрастании акклиматизационных температур наступает такой момент, когда дальнейшее возрастание акклиматизационных температур не приводит к увеличению верхней пороговой температуры. В этом случае достигается окончательная верхняя пороговая температура (ultimate upper lethal incipient temperature) – ей соответствует линия полигона, параллельная оси акклиматизационных значений фактора. Аналогично описывается и нижняя граница. В этом случае говорят об окончательной нижней пороговой температуре (ultimate lower lethal incipient temperature). Соответственно, принято различать наклонную линию верхней пороговой температуры, горизонтальную линию верхней пороговой температуры, наклонную линию нижней пороговой температуры, горизонтальную линию нижней пороговой температуры (Beitinger, Bennet, 2000). Эти понятия можно заменить привычными для русскоязычной литературы терминами: окончательная верхняя пороговая температура равна верхней границе температурного потенциального диапазона, а окончательная нижняя пороговая температура нижней границе температурного потенциального диапазона.

Аналогично можно определить элементы соленостного толерантного полигона: наклонную линию верхней пороговой солености, горизонтальную линию верхней пороговой солености, наклонную линию нижней пороговой солености, горизонтальную линию нижней пороговой солености (рис.). Верхняя и нижняя границы потенциального соленостного диапазона равны абсолютно высшей и абсолютно низшей тестовой солености, при которой может существовать вид.

Для анализа видовых температурных полигонов было предложено использовать два метода (Beitinger, Bennett, 2000). Оба метода основаны на геометрическом разбиении полигона на три отдельные зоны относительно четырех ключевых температур: нижней и верхней потенциальных температурных границ, верхней и нижней толерантной границы.

Авторы методов предложили выделять для толерантного полигона три зоны. Наибольшее значение имеет зона тестовых температур, в которой организм выживает при любых температурах акклимации. Она носит название зоны тестовых температур не зависящей от акклимации. Зона температурной толерантности, лежащая выше зоны тестовых температур не зависящей от акклимации, носит название верхней зоны, зависящей от температуры акклимации, лежащая ниже – называется нижней зоной, зависящей от температуры акклимации. Можно рассматривать верхнюю и нижнюю зоны совместно, выделяя так называемую комбинированную зону тестовых температур, зависящую от температур акклимации.

Оба метода анализа выделяют одни и те же зоны, но на основании разных геометрических представлений. Первым методом, который назван линейным (Beitinger, Bennett, 2000), выделяют зоны тестовых температур разбиением диапазона потенциальной температурной толерантности. Вторым методом основан на разделении площади температурного толерантного полигона на три части. Соответственно, в первом случае единицей измерения служат  $^{\circ}\text{C}$ , а во втором  $^{\circ}\text{C}^2$ . Легко заметить, что различия между методами анализа объясняются различиями между толерантным полигоном и потенциальным толерантным диапазоном.

Так как соленостные толерантные полигоны имеют форму (Smurov, Fokin, 2001), аналогичную температурным толерантным полигонам, разработанные ранее методы анализа применимы в обоих случаях. Таким образом, оба метода показывают, что от акклимации зависит около 100 % адаптационных способностей *A. rubens*.

Считается, что с зоной тестовых соленостей, не зависящей от акклимации, должен быть связан максимум обилия этого вида в водоеме (Beitinger, Bennett, 2000). Поэтому полученные при анализе полигона результаты можно использовать для анализа распространения *A. rubens* в Белом море. Однако, и это следует подчеркнуть особо, диапазон толерантного полигона морской звезды, не зависящий от солености акклимации, отсутствует.

К настоящему времени получены соленостные толерантные полигоны *Mytilus edulis* (Филиппов, 2007; Филиппов, Филиппова, 2006), *Macoma balthica* (Филиппов, 2004; Филиппов, Филиппова,

2006), *Hiattella arctica* (Комендантов и др., 2006), *Nereis pelagica* (Смуров, Комендантов, 2008) и *H. ulvae* (Комендантов, Смуров, 2009).

Примечательно, что среди изученных видов для соленостных толерантных полигонов *M. edulis* и *M. balthica* характерно полное отсутствие диапазона толерантного полигона, не зависящего от солености акклимации. Для *H. ulvae* диапазон толерантного полигона, не зависящего от солености акклимации, очень узок и в реальности не совпадает с соленостями, при которых встречается этот моллюск как в Белом море, так и в других морях. В отличие от толерантных полигонов этих видов, для полигонов *H. arctica* и *N. pelagica* такой диапазон существует и реально совпадает с естественной соленостью среды, при которой хиателла и nereis встречаются в Белом море.

Нельзя не заметить, что *H. ulvae*, *M. edulis* и *M. balthica* являются литоральными видами, для которых характерно существование при значительных сезонных и суточных колебаниях солености среды. Эти литоральные моллюски обладают незначительной подвижностью и способны эффективно и надолго изолировать внутреннюю среду организма от влияния среды внешней. *H. arctica*, *N. pelagica* и *A. rubens*, которые являются, главным образом, обитателями зоны ламинарий в Белом море, к подобной изоляции внутренней среды не способны.

Для *N. pelagica* и *A. rubens* характерна высокая подвижность – если условия среды не благоприятны, они могут переместиться в более подходящие местообитания. Например, молодь морских звезд, которая была использована в наших экспериментах, в летнее время скапливается в больших количествах у уреза воды, периодически встречаясь в нижнем горизонте литорали. Сублиторальные *H. arctica* обладает незначительной подвижностью и в связи с этим редко встречается выше 1 м от границы литорали, зоны, обитатели которой подвергается сильным сезонным колебаниям температуры и солености (Халаман, 2001).

Анализ как полученных нами, так и литературных данных позволяет предположить, что условие невозможности успешной изоляции от влияния внешней среды является необходимым, но не единственным, для того чтобы по зоне полигона, не зависящей от солености акклимации можно было предсказывать распространение вида в естественных местообитаниях. Каковы другие условия, необходимые для успешного применения вышеуказанного метода анализа толерантных полигонов, можно будет выяснить в процессе дальнейших исследований.

### Литература

- Комендантов А.Ю., Бахмет И.Н., Смуров А.О., Халаман В.В. 2006. Влияние изменения солености на частоту сердечных сокращений и соленостную толерантность *Hiattella arctica* L. (Bivalvia, Heterodonta) // Вестн. СПбГУ. Сер. 3. Вып. 4. С. 17 – 24.
- Комендантов А.Ю., Смуров А.О. 2009. Соленостный толерантный полигон *Hydrobia ulvae* (Pennant, 1777) (Mollusca: Hydrobiidae) // Экология. (в печати).
- Смуров А.О., Комендантов А.Ю. 2008. Соленостный толерантный полигон *Nereis pelagica* Linnaeus, 1761 (Polychaeta: Nereidae) // Зоология беспозвоночных. Т. 5. № 1. С. 9 – 16.
- Филиппов А.А. 2004. Адаптивные способности беломорских *Macoma balthica* (Bivalvia, Tellinidae) к изменению солености среды обитания // Зоологический журнал. Т. 83. № 7. С. 771 – 775.
- Филиппов А.А. 2007. Адаптивные способности беломорских мидий *Mytilus edulis* (Bivalvia, Mytilidae) к изменению солености среды обитания // Зоол. журн. Т. 86. № 4, С. 415 – 420.
- Филиппов А.А., Филиппова Н.А. Зависимость соленостной толерантности от условий акклимации и определение потенциальной соленостной толерантности водных беспозвоночных // Вестник СПбГУ. 2006. Сер. 3., Вып. 4, С. 25 – 32.
- Халаман В.В. 2001. Сообщества обрастания мидиевых установок в Белом море // Биология моря. Т.27. №4. С.268 – 278.
- Хлебович В.В. Акклимация животных организмов. Л., Наука, 1981. 136 с.
- Beitinger L.T., Bennett A.W. 2000. Quantification of the role of acclimation temperature in temperature tolerance of fishes // Environmental Biol. of Fishes. V. 58. P. 277 – 288.
- Fry F.E.J., Brett R., Clawson G.H. Lethal limits of temperature for young goldfish // Revue Canad. Biol. 1942. № 1. P. 50 – 56.
- Fry F.E.J., Hart J.S., Walker K.F. 1946. Lethal temperature relations for a sample of young speckled trout, *Salvelinus fontinalis* // Publication of the Ontario Fisheries Research Laboratory. The University of Toronto Press, University of Toronto Studies. Biological series №54. № 66. P. 9 – 35.
- Hart J.S. 1952. Geographic variations of some physiological and morphological characters in certain freshwater 263 fish // The University of Toronto Press, Toronto. University of Toronto Biology Series № 60. 79 p.



Khlebovich V.V., Kondratenkov A.P. 1973. Stepwise acclimation – a method for estimating the potential euryhalinity of the gastropod *Hydrobia ulvae* // Marine Biology. Intern. J. on Life in Oceans and Coastal Waters. V.18. №1. P. 6 – 8.

McLeese D.W. 1956. Effects of temperature, salinity, and oxygen on the survival of the American lobster // J. Fisher. Research Board of Canada. V.13. № 2. P. 247 – 272.

Smurov A.O., Fokin S.I. 2001. Use of salinity tolerance data for investigation of phylogeny of *Paramecium* (Ciliophora, Peniculia) // Protistology. V. 2. № 2. P. 132 – 141.

## **СОСТОЯНИЕ КЕФТЕНЬ ГУБЫ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА ПРИ ТОВАРНОМ ВЫРАЩИВАНИИ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ**

**О.П. Стерлигова, С.П. Китаев, Н.В. Ильмаст, Я.А. Кучко, С.А. Павловский, Е.С. Савосин**

Учреждение Российской академии наук Институт биологии

Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск, Россия

e-mail: ilmast@karelia.ru

### **Введение**

Европейский Север отличается обилием внутренних пресноводных водоемов с разной продуктивностью и абиотическими условиями. Сокращение запасов и резкое падение промысла ценных видов рыб в этой части, привели к интенсификации работ, направленных на интродукцию промысловых объектов и разработку биотехники культивирования различных организмов. Одним из таких способов является садковое рыбоводство, в Карелии, главным образом, радужной форели (*Parasalmo mykiss* Walbaum). К настоящему времени объемы ее производства достигли 10000т, что составляет 70% от общего производства форели в России. Успешному развитию этого направления способствуют благоприятные климатические условия региона, наличие транспортных сетей и квалифицированные кадры. В связи с тем, что форелевые садковые хозяйства организуются на внутренних водоемах, требования к охране окружающей среды и возможности самих водных объектов определяют их производственные мощности.

Цель исследований – оценить состояние Кефтьень губы Онежского озера при товарном выращивании форели и уточнить предельные объемы ее производства, не причиняя существенного вреда качеству воды.

### **Материалы и методы**

Работу выполняли в Кефтьень губе Онежского озера, где в течение 7 лет выращивается 300 т товарной форели в год. В соответствии с программой работ в 2008г. (июнь, август, октябрь) в губе отбирались пробы на гидрохимический, гидробиологический (фитопланктон, зоопланктон, макрозообентос и ихтиофауна) анализ на 3-х постоянных станциях: непосредственно около садков, на расстоянии 150–200м по обе стороны от садков (на северо-запад и юго-восток).

Химический состав воды определялся по стандартным методикам (Абакумов, 1977; Морозов, 1998). Уровень трофности водоемов определялся по классификации С.П. Китаева (2007).

Сбор и обработка проб фитопланктона проводились по общепринятой методике (Кузьмин, 1975). Пробы, объемом 1 литр, отбирали батометром Рутнера со стандартных горизонтов, а также интегрированные по глубине. Количественные пробы просчитывали в камере Нажотта объемом 0.01 мл в двух повторностях. Все встреченные клетки измерялись, высчитывался их объем. Биомасса фитопланктона высчитывалась расчетным способом (Федоров, 1979), удельную массу клетки принимали равной  $1\text{г/м}^3$ . Для расчета индексов сапробности использовали уточненные списки индикаторных видов (Макрушин, 1974).

Отбор проб зоопланктона осуществлялся батометром Рутнера (объем 2 литра). Облавливались все слои воды, начиная с поверхностного слоя, с интервалом 1.0 м. Интегрированные пробы (поверхность-дно) процеживались через газ № 70, концентрировались до  $100\text{ мм}^3$  и фиксировались 4% формалином. Для изучения вертикального распределения зоопланктона также применялись ловы по отдельным горизонтам: 0–5 м, 5–10 м и > 10 м. Последующая обработка в лаборатории проводилась по стандартной методике (Методические рекомендации..., 1984).

Для отбора количественных проб макрозообентоса использовался дночерпатель ДАК-250 (модификация Экмана-Берджа с площадью захвата 1/40 м<sup>2</sup>) с последующей промывкой грунта через сито № 19 (ячей 0.5 мм) и фиксацией 8%-м раствором формальдегида. На каждой станции брали по 1–2 дночерпателя. Обработку проб проводили в лаборатории по общепринятой методике (Жадин, 1956). Беспозвоночных взвешивали с точностью 0,1 мг на торсионных весах. Идентификация организмов макрозообентоса проводилась по определителям (Панкратова, 1983; Нарчук, 1999). Данные количественных проб макрозообентоса проанализированы при помощи пакета программ автоматизированной системы обработки гидробиологических данных (Хазов, 2000).

Сбор и обработка ихтиологического материала проводились по методикам Н.И. Чугуновой (1959) и И.Ф. Правдина (1966).

### Результаты и обсуждение

Рельеф Заонежья, куда относится Кефтьень губа Онежского озера, очень своеобразный, не встречающийся более нигде в Карелии. Геологическое прошлое района обусловило разнообразие форм озерных котловин. Провалы и тектонические трещины каменноугольной эпохи, денудационные процессы последующих периодов, в результате деятельности ледника были главными причинами их образования. (Берг, 1915; Кищенко, 1915).

Кефтьень губа неглубокая, хорошо прогреваемая, соединяющая с Повенецким заливом Онежского озера. Площадь водной поверхности 12 км<sup>2</sup>, наибольшая длина 15 км, ширина 1,0 км, средняя глубина 7,0 м, наибольшая 16 м, прозрачность 2,5 м, цвет воды светло – коричневый, активная реакция воды рН 7,1 – 7,8 (табл. 1).

Таблица 1

Основные гидрологические показатели Кефтьень губы

Показатели	
Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	265
Площадь водной поверхности, км <sup>2</sup>	8.5
Средняя глубина, м	3.0
Максимальная глубина, м	25.0
Прозрачность, м	2.5
Удельный водосбор	31.2
Показатель условного водообмена	3.6

Преобладающим типом донных отложений являются илы. На озере встречены илы серого цвета, что обусловлено наличием в подстилающем грунте светло окрашенных глин. Грунты в углубленной части илистые, в прибрежье – глинисто – каменистые, местами отмечена гороховидная руда. (Домрачев, 1929).

Цветность воды в губе колеблется в пределах 12–20°, в среднем составляя 15°. Отмечены незначительные колебания перманганатной окисляемости по глубинам от 6,3 до 11,0 мгО<sub>2</sub>/л (табл. 2). Отчетливой стратификации в содержании органических веществ по глубинам в губе установить не удалось.

Анализ воды показал, что содержание общего фосфора и азота характерно для мезотрофных водоемов (Милиус и др., 1987; Хендерсон – Селлерс, Маркленд, 1990; и др.) и в целом вода в озере отвечает всем требованиям к ее качеству для выращивания товарной форели.

В составе фитопланктона за период исследования отмечено 52 вида и разновидности водорослей в следующем соотношении: сине-зеленые – 5, золотистые – 4, диатомовые – 30, пиррофитовые – 2, зеленые – 11.

В течение всего периода исследований доминировали диатомовые водоросли, массовыми видами являлись *Aulacoseira italica* var. *tenuissima*, *Aulacoseira islandica*,

Сезонная динамика численности и биомассы фитопланктона представлена в таблице 2.

Таблица 2

**Количественные показатели развития фитопланктона Кефтьень губы Онежского озера  
(Ч- численность, тыс.кл/л, Б-биомасса, г/м<sup>3</sup>)**

№ ст.	Весна		Лето		Осень		Среднее	
	Ч	Б	Ч	Б	Ч	Б	Ч	Б
200 м на северо-запад от садков	1086	1.769	3134	5.363	1840	2.353	2020	3.162
около садков	698	1.147	3204	4.637	1132	1.679	1678	2.487
200 м на юго-восток от садков	1176	2.174	3606	5.945	258	0.441	1680	2.853
Среднее	987	1.697	3315	5.315	1076	1.491	1793	2.834

Анализ сезонного развития фитопланктона показал, что динамика численности и биомассы описывается одновершинной кривой с летним максимумом. Рассматривая пространственное распределение водорослей по акватории водоема, следует отметить, что наибольшие средние показатели зарегистрированы в прибрежной зоне (ст.1). Средние значения для станций 2 и 3 отличались незначительно.

Индексы сапробности, рассчитанные по численности индикаторных видов, изменялись от 1.51 до 1.86 и в среднем составили 1.68, что характеризует водоем как бета-мезосапробный.

Степень зарастания Кефтьень губы макрофитами невелика – 10% площади озера. Высокие скалистые берега обуславливают крутой подводный склон и препятствуют развитию и распространению в этом озере высшей водной растительности, которая сконцентрирована, главным образом, в южном узком заливе и в северной части, у берегов и вокруг острова. Флора представлена 15 видами. Наиболее распространенными являются тростник, рдесты, кубышка, хвощ и камыш.

Зоопланктон Кефтьень губы, включает виды, широко распространенные в озерах Карелии и указанные ранее для водоемов Заонежья (Филимонова, 1965; Куликова, 2007). Видовое разнообразие планктонной фауны в губе, достигается главным образом за счет ветвистоусых ракообразных, что характерно для водоемов Карелии. В Кефтьень губе отмечено 36 видов планктонных ракообразных и коловраток. Из них *Rotatoria* – видов, *Cladocera*–и *Copepoda*. Основными формами летнего планктонного комплекса ракообразных являются эвритопные виды – *Eudiaptomus gracilis*, *Mesocyclops leuckarti*, *Thermocyclops oithonoides*, *Daphnia cristata*, *Chydorus sphaericus*, а также представители северной фауны – *Bosmina coregoni*, *Holopedium gibberum*. Из типичных представителей тепловодно-стенотермного комплекса нами был отмечен только один вид *Diaphanosoma brachyurum*. Средние количественные показатели зоопланктона по группам в летний и осенний периоды приведены в таблице 3.

Таблица 3

**Средние количественные показатели зоопланктона в Кефтьень губе**

Группы	Численность		Биомасса	
	Тыс.экз./м <sup>3</sup>	%	г/м <sup>3</sup>	%
июнь – август				
<i>Rotatoria</i>	67.6	61.3	0.46	11.4
<i>Cladocera</i>	22.7	20.6	2.10	52.5
<i>Cyclopoida</i>	11.2	10.2	0.56	14.1
<i>Calanoida</i>	6.7	6.1	0.58	14.5
<i>Nauplii</i>	2.0	1.8	0.30	7.5
Всего	110.2	100	4.00	100
Октябрь				
<i>Rotatoria</i>	9.5	28.3	0.34	23.6
<i>Cladocera</i>	7.9	23.5	0.61	42.6
<i>Cyclopoida</i>	13.9	41.3	0.41	27.7
<i>Calanoida</i>	1.0	3.0	0.08	5.7
<i>Nauplii</i>	1.3	3.9	0.01	0.4
Всего	33.6	100	1.45	100

Сравнение наших результатов с литературными данными (Филимонова, 1965) показывает значительное увеличение количественных показателей летнего зоопланктона в Кефтьень губе

бе за последние 40 лет (с 2,25 г/м<sup>3</sup> в 1961 г. до 4,0 г/м<sup>3</sup> в 2007). При этом видовой состав и трофическая структура не претерпели заметных изменений. Учитывая вариабельность количественных показателей зоопланктона в зависимости от климатических условий года, целесообразно рекомендовать проведение дальнейших гидробиологических исследований.

Макрозообентос служит очень удобным объектом для мониторинга пресноводных водоемов, благодаря способности обитать в самых разных условиях, крупным размерам, приуроченности к конкретному местообитанию и достаточной продолжительности жизни, которая позволяет им аккумулировать влияющие на водную экосистему вещества (Баканов, 1997). Основу макрозообентоса в Кефтьень губе по биомассе и по численности составляют хирономиды (табл. 4).

Таблица 4

**Средняя за вегетационный сезон численность и биомасса макрозообентоса в Кефтьень губе**

Показатели Таксоны	N экз./м <sup>2</sup>	N%	B г/м <sup>2</sup>	B%	F%
У садков					
Oligochaeta	8.00	7.41	0.03	1.16	40.0
Diptera	20.00	18.52	0.07	2.72	40.0
Chironomidae	80.00	74.07	2.48	96.12	100
Total	108(29	100	2.58( 1.26	100	100
200 м от садков					
Oligochaeta	33.00	7.04	0.12	1.33	66.7
Chironomidae	440.00	92.96	9.36	98.67	100
Total	473(15	100	9.48 (2.22	100	100

N – средняя численность, N% – относительная численность

B – средняя биомасса, B% – относительная биомасса

F% – встречаемость организмов в пробах от числа всех проб

Численность донных организмов варьировала от 87 до 133 экз./м<sup>2</sup>, биомасса от 0,6 до 1,7 г/м<sup>2</sup>. Доминирование среди хирономид представителей п/с Chironominae показывает, что Кефтьень губа приобретает черты мезотрофного озера. Для оценки степени загрязнения воды в губе был использован хирономидный индекс (К), предложенный Е.В. Балушкиной (1987), который составил 5.5, что позволяет характеризовать воду, как умеренно загрязненную.

Ихтиофауна Онежского озера в настоящее время насчитывает 36 видов рыб, относящихся к 15 семействам (Лукин и др., 2008). В Кефтьень губе нами выловлено 8 видов: окунь *Perca fluviatilis* L., ерш *Gymnocephalus cernuus* (L.), уклея *Alburnus alburnus* (L.), плотва *Rutilus rutilus* (L.), лещ *Abramus brama* (L.), красноперка *Scardinius erythrophthalmus* (L.), щука *Esox lucius* L., налим *Lota lota* (L.). В уловах доминировала плотва.

Перед нами стояла задача оценить влияние форелевого комплекса на Кефтьень губу Онежского озера и определить в ней предельные объемы выращивания товарной форели. При производстве рыбы в форелевых садках основными источниками загрязнения являются корм и продукты метаболизма – фекалии, жидкие и твердые выделения. Как показали исследования последних лет, лимитирующими факторами загрязнения являются азот и фосфор. В связи с этим произведены расчеты количества фосфора и азота, которые поступают в водоемы с форелевых комплексов. Расчеты, выполнены разными способами (Китаев и др., 2006). Предельные объемы выращивания форели в садках, без ущерба для данной водной экосистемы представлены таблице 5.

Сопоставление биогенной нагрузки с допустимыми и опасными величинами показывает, что в настоящее время по фосфору и азоту от форелевой фермы при глубине 10 м она приближается к допустимым размерам. Считаем, что необходим постоянный контроль по состоянию Кефтьень губы (не реже одного раза в два года), по основным базовым параметрам: гидрохимия, гидробиология, качество и количество используемого корма.

**Объем выращивания форели, биогенная нагрузка от форелевого хозяйства, природная, допустимая и опасная для Кефтьень губы Онежского озера**

Показатели	
Объем выращивания форели ,т/год	300
<b>Биогенная нагрузка от форелевой фермы, г/м<sup>2</sup> год</b>	
Фосфор	0.28
Азот	2.23
<b>Биогенная нагрузка допустимая, г/м<sup>2</sup> год</b>	
Фосфор	0.10
Азот	1.50
<b>Биогенная нагрузка опасная свыше, г/м<sup>2</sup> год</b>	
Фосфор	0.20
Азот	3.00
<b>Удельный вес (%) азота и фосфора форелевой фермы от естественной нагрузки</b>	
Фосфор	48
Азот	19

### Выводы

Анализ полученных данных по биогенной нагрузке, позволил уточнить норму выращивания товарной форели без ущерба для ее экосистемы не более 300 т в год, при высоких температурах воды – до 250г. Необходим постоянный контроль за состоянием всех звеньев данной экосистемы при выращивании товарной форели в садках.

*Работа выполнена при финансовой поддержке проектов РФФИ №05-04-49496, 07-04-00028, Общества форелеводов РК. Выражаем благодарности председателю Общества форелеводов РК. Артамонову В.П. за всестороннюю поддержку работ данного направления, зам. директору ООО «Русская крепость» С.В. Алексину за предоставленную возможность по сбору материала.*

### Литература

- Абакумов В.А. 1977. Контроль качества вод по гидрологическим показателям в системе гидробиологической службе СССР // Научные основы в системе контроля качества поверхностных вод. Л.: Гидрометеиздат. С.93–99.
- Баканов А.И. 1997. Использование характеристик разнообразия зообентоса для мониторинга состояния пресноводных экосистем // Мониторинг биоразнообразия. М. С. 278 – 283.
- Балушкина Е.В. 1987. Функциональное значение личинок хирономид в континентальных водоемах. Л.:»Наука». С. 146–165.
- Берг Л.С. 1915. О значении термина «нагорье» // Землеведение. Т. 22. кн. 4. С. 124–129.
- Домрачев П.Ф. 1929. Озера Заонежья // Рыбохозяйственный очерк. Труды Олонецкой научной экспедиции. Т. VIII. № 3. С.
- Жадин В.И. 1956. Методика изучения донной фауны и экологии донных беспозвоночных // Жизнь пресных вод СССР. М.; Л.Т. 4, ч.1. С.279–382
- Китаев С.П. 2007г. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. 2007. Петрозаводск. КарНЦ РАН. 395с.
- Китаев С.П., Стерлигова О.П. 2005. Воздействие форелевых комплексов на озерно-речные системы Карелии // Материалы Межд. конф. IV (XXVII) «Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера». Вологда. ВГПУ. С.28–34.
- Китаев С.П., Ильмаст Н.В., Стерлигова О.П. 2006. Методы оценки биогенной нагрузки от форелевых ферм на водные экосистемы. Петрозаводск. КарНЦ РАН. 40с.
- Кищенко 1915. Геологический и орографический очерк Олонецкой губернии //Естественные и экономические условия рыболовного промысла в Олонецкой губернии. Петрозаводск. С. 125–130.
- Кузьмин Г.В. 1975. Фитопланктон – видовой состав и обилие //Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов.- М.: Наука.
- Куликова Т.П. 2007. Зоопланктон водных объектов бассейна Онежского озера Петрозаводск. 223 с.
- Лукин А.А., Ивантер Д.Э., Шарова Ю.Н. и др. 2008. Биоресурсы Онежского озера. Петрозаводск. КарНЦ РАН. 2008. 273 с.
- Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях. 1984. Л. 19 с.

- Милиус А.Ю., Линдперс А.В., Старост Х.А. 1987. Статистическая модель трофического состояния малых светловодных озер // Водные ресурсы. № 3. С. 63–66.
- Морозов А.К. 1998. Химический состав воды // Современное состояние водных объектов РК. Петрозаводск. КарНЦ РАН. С.161–162.
- Нарчук Э.П. 1999. Определитель беспозвоночных России и сопредельных территорий. С -Пб. С. 210–296.
- Панкратова В.Я. 1983. Личинки и куколки комаров подсемейства Chironominae фауны СССР. Л.: Наука. 295с.
- Правдин И.Ф. 1966. Руководство по изучению рыб М.: Наука. 376с.
- Федоров В.Д. 1979. О методах изучения фитопланктона и его активности.- М.: Изд-во МГУ. 176с.
- Хендерсон-Селлерс Б., Марклэнд Х. 1990. Умирающие озера. (Причины и контроль антропогенного эвтрофирования). Л.: Гидрометеиздат. 279 с.

## **ВНУТРИВИДОВАЯ СТРУКТУРА ЧЕРНОМОРСКО – КАСПИЙСКОЙ ТЮЛЬКИ *CLUPEONELLA CULTRIVENTRIS* (NORDMANN, 1840) ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АЛЛОЗИМНОЙ И RAPD- ИЗМЕНЧИВОСТИ**

**В.В. Столбунова, Д.П. Карабанов**

Учреждение Российской академии наук Институт биологии внутренних вод  
им. И.Д.Папанина РАН, Борок, Ярославская обл., Россия  
e- mail: vvsto@mail.ru

Вопрос о таксономическом статусе и степени внутривидовой подразделенности черноморско – каспийской тюльки до настоящего времени остается дискуссионным. У черноморско-каспийской тюльки *Clupeonella cultriventris* (ранее – *C. delicatula*) в связи с большим географическим ареалом выделяли 4 подвида: черноморская тюлька *C. delicatula delicatula*, каспийская тюлька *C. delicatula caspia*, азовская тюлька *C. delicatula azovi* и чархальская тюлька *C. delicatula tscharchalensis* (Владимиров, 1950; Световидов, 1952). По данным традиционного морфологического анализа азово-черноморские и каспийские популяции неоднократно переписывались то в статусе единого вида, то в статусе двух подвигов (Световидов, 1964; Атлас, 2002; Богущкая, Насека, 2004). После создания водохранилищ почти на всем протяжении Волги тюлька за короткий исторический период (порядка 40–50 лет) самостоятельно расселилась по всем водохранилищам каскада, а также по водохранилищам р. Камы и р. Шексна. При этом, фактически с момента первого обнаружения тюльки в волжских водохранилищах, встал вопрос об источнике ее происхождения – из азово-донской или же из каспийской популяции.

Для определения степени внутривидовой подразделенности и уточнения таксономического статуса тюльки в бассейнах Черного, Азовского и Каспийского морей был осуществлен популяционно-генетический анализ ряда крупных групп популяций с применением методов диск-электрофореза белков в полиакриламидном геле (PAGE) и полимеразной цепной реакции со случайными праймерами (RAPD-PCR).

RAPD – маркеры локализованы в основном в некодирующей области ДНК, скорость мутирования ее вдвое выше, чем в кодирующей области, которая составляет всего 1% генома, показателем полиморфизма которой является аллозимная изменчивость. Используемые методы дополняют друг друга и позволяют исследовать геном в целом.

Для анализа аллозимной изменчивости использовали выборки в размере 40 экземпляров из популяций: Сев. Каспия, 2 – Волгоградского вдхр., 3 – Горьковского вдхр., Рыбинского вдхр., Азовского м., Днестровского лим., р. Днепр, р. Маныч, *C. engrauliformes* (Каспийского м.). Живую рыбу фиксировали жидким азотом в сосудах Дьюара СК-50, либо замораживали при температуре не выше –27°C. В лабораторных условиях отбирали образцы для генетического исследования. Разделение и гистохимическое выявление аллозимов проводилось в соответствии со стандартными методиками (Глазко, 1988; Walker, 2002). В качестве основных изучаемых ферментов использовались: α-глицерофосфат дегидрогеназа (Е.С. 1.1.1.8), лактатдегидрогеназа (Е.С. 1.1.1.27), малатдегидрогеназа NAD-зависимая (Е.С. 1.1.1.37), малатдегидрогеназа NADP-зависимая (Е.С. 1.1.1.40), 6-фосфоглюконат дегидрогеназа (Е.С. 1.1.1.44), глюкозо-6-фосфат дегидрогеназа (Е.С. 1.1.1.49), супероксиддисмутаза (Е.С. 1.15.1.1),

аспартатаминотрансфераза (Е.С. 2.6.1.1); щелочная фосфатаза (Е.С. 3.1.3.1), эстеразы эфиров карбоновых кислот: 2-нафтилацетат зависимая эстераза и D-эстераза (Е.С. 3.1.1.x) и спектр общего белка (GR, mg.). При разделении ферментов применялись вертикальные электрофоретические камеры с пластинами PAG, при этом одновременно исследовалось 40 образцов в блоке.

RAPD-изменчивость изучали в выборках тюльки из популяций Северного Каспия (приустьевой участок р.Сулак), Пролетарского водохранилища р. Маныч, Азовского моря (у п.Чумбур – Коса) и Рыбинского водохранилища р. Волга. Исследовано 4 выборки по 10 особей в каждой. Выделение тотальной ДНК проводили из мышечной ткани с помощью набора реагентов Diatom DNA Prep 100. Для выявления геномной вариабильности использовали семь случайных праймеров следующего состава: OPA11, OPA17; OPA19; R55; P29; OPA20; SB2. ПЦР проводили на амплификаторе ТП4-ПЦР-01 (ДНК-Технология). Программа амплификации включала в себя этап первоначальной денатурации ДНК – 5 мин., +94°C; затем 35 циклов синтеза фрагментов ДНК : денатурация -94°C в течение 2 мин, отжиг – 45°C – 1 мин, элонгация – 72°C – 2 мин. После завершения программы температура снижалась до 4°C. Электрофоретическое разделение продуктов амплификации проводилось в 1,5% агарозном геле толщиной 7 мм, в течение 8 часов. Агарозные гели, окрашенные бромистым этидием, просматривали в УФ с длиной волны  $\lambda=312$  нм и фотографировали цифровой камерой фирмы Olympus C-2100 Ultra Zoom. Изображения заносили в компьютерную базу данных. В качестве маркеров молекулярной массы использовали 100 bp, 50 bp и 1kb Ladder (Fermentas). Денситометрический анализ активности изоферментов проводили по индивидуальным электрофоретическим трекам с использованием пакета RFLPscan Plus v.3.12 (CSP, Inc.). Популяционно-генетический анализ проводился с использованием программы BIOSYS r.1.7 и TREECON (Van der Peer, 1994). Статистический анализ и графическое представление материалов проводилось в программе STATISTICA v.7 (StatSoft, Inc.). Для определения таксономического статуса была проведена UPGMA-кластеризация крупных групп популяций тюльки из разных бассейнов на основании дистанций Нэя (Nei, 1972), с использованием в качестве репера данных по каспийской популяции анчоусовидной тюльки *C. engrauliformes*.

Результаты по аллозимной изменчивости свидетельствуют, что на всем протяжении своего современного ареала черноморско-каспийская тюлька представляет собой генетически единую совокупность популяций *Clupeonella cultriventris* in sensu lato, надежно дифференцированную от родственного вида – анчоусовидной тюльки (рис. 1). Значимых генетических различий межвидового уровня (по классификации Ayala, 1975) между азово-черноморской, каспийской и маньчской тюлькой не наблюдается (дистанция 0,036), тогда как между черноморско-каспийской и анчоусовидной тюлькой различия достигают величины генетической дистанции 0,69, что может характеризовать их как надежные таксономические виды.

С помощью семи случайных праймеров было выявлено 148 локусов, из них 20 – видоспецифичных мономорфных локуса, общих для четырех популяций. Уровень полиморфизма составил 85.0%. Внутри каждой из четырех выборок доля полиморфных локусов составила: 74.0% (Азовское море), 69.0% (Северный Каспий), 70.0% (р.Маныч), 68.0% (Рыбинское в-ще). При анализе установлено, что выборка из района Северного Каспия наиболее гетерогенна и достоверно отличается ( $p < 0,05$ ) от других популяций по среднему числу RAPD-фрагментов ( $70,6 \pm 2,3$ ), тогда как выборки из р. Маныч, Азовского моря и р. Волга не различаются между собой по этому показателю ( $60,0 \pm 1,4$ ;  $61,6 \pm 2,6$ ;  $61,5 \pm 2,3$ , соответственно). По данным RAPD- анализа отмечено совпадение мономорфных видоспецифичных RAPD-фрагментов у представителей всех выборок, что говорит о значительном сходстве геномов исследуемых особей. При исследовании генетических расстояний (рис.2.), несмотря на столь отчетливую кластеризацию, индекс бутстрепа даже по основным кластерам свидетельствует о слабой надежности объединений (32–35%), что также свидетельствует о таксономическом видовом единстве тюльки этих популяций и что внутривидовая дивергенция тюльки двух рассматриваемых морских бассейнов, по всей видимости, не достигает даже статуса подвидов. Не исключено, что формирование этих субкластеров вызвано обитанием тюльки в водоёмах с различной степенью минерализации. Отсутствие различий пресноводных популяций Днепра в сравнении с лиманными черноморскими популяциями, вероятно, может быть объяснено исторической молодостью этих пресноводных групп, в которых изменения частот аллелей ещё не достигли существенных значений. С другой стороны, последовательность формирования внутривидовых кластеров и их четкая географическая детерминированность позволяет с уверенностью говорить, во-первых, о более ранней в палеонтологическом масштабе времени дивергенции азовских и каспийских популяций, а во-вторых, о несомненном происхождении волжских и маньчских популяций из каспийских.

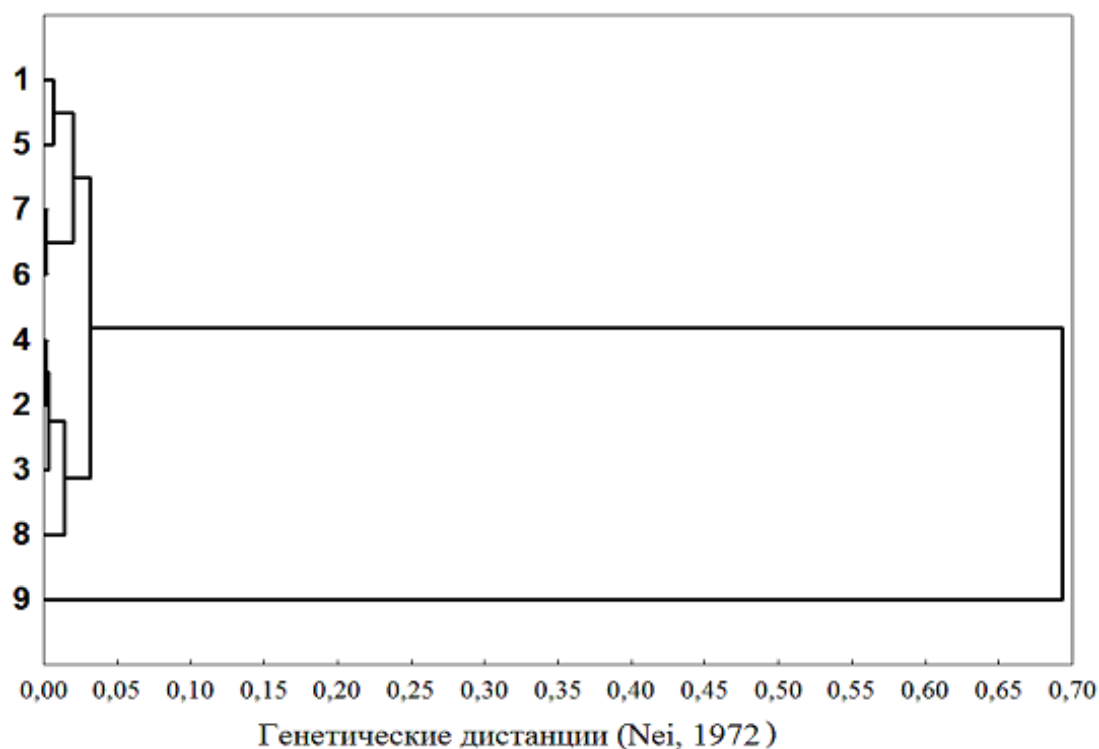


Рис. 1. Иерархическая структура основных географических групп популяций *C. cultriventris* с реперным видом *C. engrauliformes* на основании популяционно-генетического анализа 12 локусов. Результат иерархической кластеризации (UPGMA) на основании генетических дистанций Нэя (Nei, 1972, 1975). Популяции: 1- Сев. Каспий, 2- Волгоградское вдхр., 3- Горьковское вдхр., 4- Рыбинское вдхр., 5- Азовское м., 6- Днестровский лим., 7- р. Днепр, 8- Маныч, 9- *C. engrauliformes* (Каспийское м.).

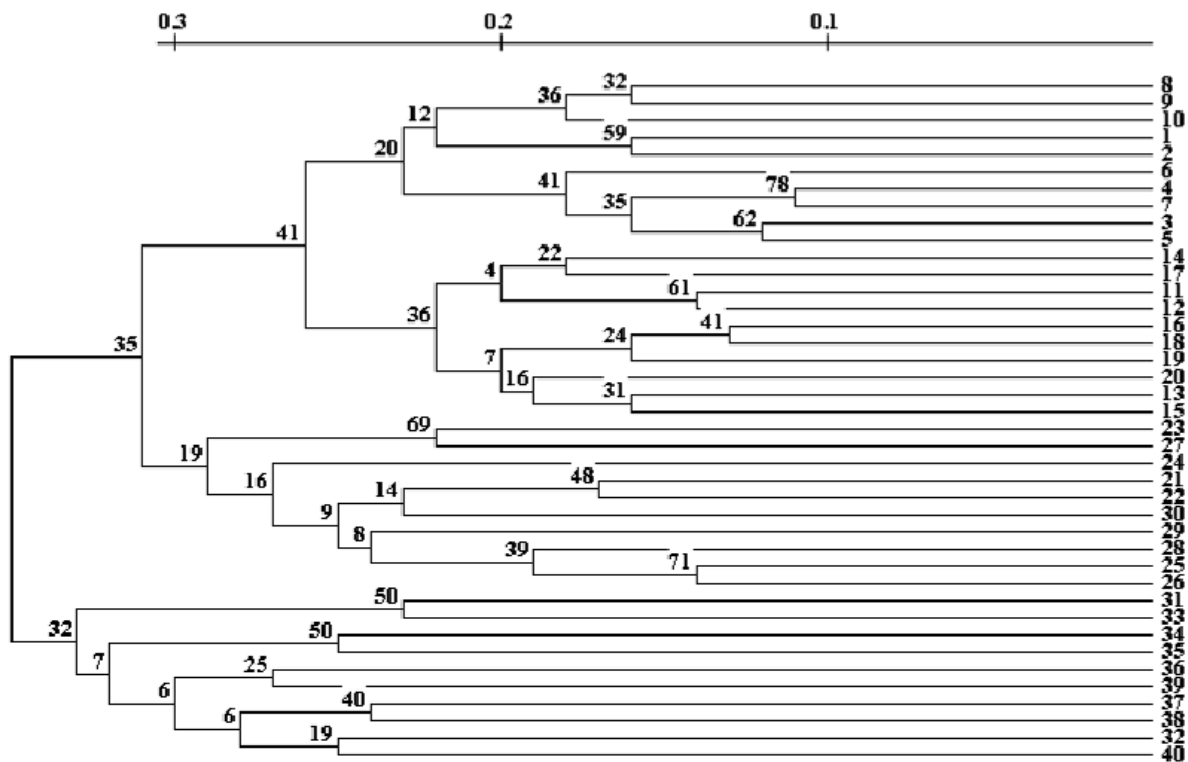


Рис. 2. Дендрограмма генетического сходства между популяциями различных частей ареала *C. cultriventris*. Результат иерархической кластеризации (UPGMA) на основании генетических дистанций Нэя (Nei, 1978), в узлах ветвления указан индекс бутстрепа. Популяции: р. Маныч, Пролетарское вдхр. (особи 1–10); р. Волга, Рыбинское вдхр. (11–20); Сев. Каспий, р.н- устья р. Сулак (21–30); Азовское м., Чумбур-Коса (31–40).



Впервые генетическими методами показано, что черноморско-каспийская тюлька является генетически единым таксономически валидным видом. Выделение независимых таксонов внутри вида *Clupeonella cultriventris* sensu lato не подтверждается генетическими исследованиями. На внутривидовом уровне тюлька подразделяется на две популяционные группы – Черноморско-Днепровско-Азово-Каспийскую и Волго-Манычскую.

#### Литература

- Аннотированный каталог круглоротых и рыб континентальных вод России. Ред. Решетников Ю.С. М.: Наука, 1998. 220 с.
- Богущая Н.Г., Насека А.М. Каталог бесчелюстных и рыб пресных и солоноватых вод России с номенклатурными и таксономическими комментариями. М.: КМК, 2004. 389 с.
- Владимиров В.И. О систематическом положении азовской и черноморской тюльки *Clupeonella delicatula* (Nordmann) // ДАН СССР. 1950. Т.70. №1. С. 125–128.
- Глазко В.И. Генетика изоферментов сельскохозяйственных животных. Итоги науки и техн. ВИНТИ, 1988. Сер. Общ. генетика. – 212 с.
- Световидов А.Н. Сельдёвые (Clupeidae). Фауна СССР. Рыбы. Т.2. Вып.1. М.–Л.: Изд. АН СССР, 1952. 333с.
- Van der Peer Y., De Wachter R. TREECON for Windows: a software package for the construction and drawing of evolutionary trees for Microsoft Windows environment// Comput. Applic. Biosci. 1994. V. 10. P.569–570.

### INTRASPECIFIC STRUCTURE BLACK SEA AND CASPIAN KILKA (*CLUPEONELLA CULTRIVENTRIS*) OF THE (NORDMANN, 1840) BY RESULTS OF ALLOZYME AND RAPD-VARIABILITY

V.V. Stolbunova, D.P. Karabanov

Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Yaroslavl Reg., Russia  
e-mail: vvsto@mail.ru

For definition of a degree intraspecific differentiation and specifications the taxonomical status kilka in pools of the Black, Azov and Caspian seas have been carried out the population-genetic analysis of some large groups of populations with application of methods a disk – electrophoresis of protein in polyacrylamide gel (PAGE) and polymerase chain reaction with random markers(RAPD-PCR). Data obtained both on izopherment composition & RAPD-markers allow to suppose that Caspian Sea and Azov-Black Sea basin kilka is differentiated on the population level and doesn't reach taxonomical status of subspecies

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ЭСТУАРНЫХ БЕНТОСНЫХ СООБЩЕСТВ БЕЛОГО МОРЯ (НА ПРИМЕРЕ ЛАПШАГИНСКОГО И ЧЕРНОРЕЧЕНСКОГО ЭСТУАРИЕВ)

А.П. Столяров

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова,  
биологический факультет, г. Москва, Россия  
e-mail: macrobenthos@mail.ru

В эстуарных экосистемах наблюдаются два основных градиента факторов среды: продольный (вдоль эстуария – от мористой части эстуария в сторону реки) и вертикальный (от верхней литорали к нижней и сублиторали), формирующие соответствующие направленные изменения видовой структуры сообщества. Продольный градиент обусловлен в первую очередь изменениями солёности воды и связанными с ней гидрологическими факторами (скорость водообмена между морскими и пресными водами, рельеф дна и т.д.) (Сафьянов, 1987; Столяров и др., 2002; Shiqiang et al., 2001). Вертикальный градиент определяется главным образом временем осушения литорали, т.е. приливно-отливными явлениями (Голиков, Бабков, 1985; Evans, 1957). С продолжительностью осушения тесно связаны колебания температуры, влажности, солёности воды, окислительно-восстановительный потенциал (Бурковский, 1992).

Несмотря на значительное число публикаций, касающихся разных аспектов структуры и разнообразия эстуарных сообществ, работ, в которых бы рассматривались изменения структурных характеристик бентосных сообществ относительно двух главных градиентов факторов среды, крайне мало. В своей работе мы попытались восполнить этот пробел.

Исследование проводили в Лапшагинском и Чернореченском эстуариях недалеко от ББС МГУ (Кандалакшский залив, Белое море).

Лапшагинский эстуарий расположен немного севернее эстуария реки Черной, и по сравнению с последним имеет меньший пресный сток, большую связь с морем и соответственно меньшие вариации солености воды в пределах ее акватории.

Вдоль продольной оси Лапшагинского эстуария по мере увеличения солености воды происходит увеличение общей плотности, биомассы и видового разнообразия сообщества макрозообентоса, что совпадает с выявленными ранее тенденциями в эстуарии реки Черной. Выделено два района, существенно различающиеся их значениями – кутовой с низкими показателями и мористый с высокими. В мористом районе соленость воды была выше и стабильнее, а осушенная полоса более широкая по сравнению с опресненным участком, что позволяет обитать там большему числу морских видов животных. По мере повышения мареографического уровня (от нижней литорали к верхней) наблюдается уменьшение числа видов зообентоса, их плотности и биомассы популяций. Особенно резкие изменения в структуре сообщества макробентоса происходят при переходе от среднего отдела литорали к верхнему, что характерно и для эстуария реки Черной.

В эстуарии реки Черной выделяются 3 основные зоны: солоноватая (0–5 (8) ‰), солоновато-морская (8 (10)– 15 (16) ‰) и морская (выше 16–18 ‰). При этом в солоноватой зоне преимущественно обитают пресноводные и солоноватоводные виды, в солоновато-морской – солоноватоводные и морские мезогалинные, а в морской – морские полигалинные виды.

Надо отметить, что изменения структурных характеристик сообщества вдоль продольной оси Лапшагинского эстуария (общая плотность, общая биомасса и видовое разнообразие сообщества) выражены слабее (не так резко) по сравнению с таковыми в эстуарии реки Черной. Практически, только в самом куту эстуария мы наблюдаем значительное обеднение фауны: выпадение менее эвригалинных морских видов (некоторых мезогалинных и полигалинных видов) и преобладание немногих солоноватоводных (*Tubificoides benedini*, *Paranais litoralis*) и морских мезогалинных видов беспозвоночных (гидробия, макома, мия (встречается в единичных экземплярах в нижней литорали)). Кут Лапшагинского эстуария вряд ли можно назвать настоящей хорогалинной зоной (5–8 ‰), т. к. дважды в сутки (во время приливов) соленая вода докатывается до этого района и разбавляется пресной до 10–15‰. Поэтому здесь мы встречаем такие массовые морские эвригалинные виды, как мия, макома, которые в эстуарии реки Черной встречаются в основном в солоновато-морской зоне, следующей сразу за солоноватой. Популяции *Mya arenaria* удается выживать в этих условиях (0.1–5 ‰ на малой воде и 10–15‰ на полной) и даже поддерживать свою популяцию на минимальном уровне (1–2 особи на метр квадратный) благодаря тому, что соленая вода задерживается в норках мии и не успевает разбавляться пресной на отливе до критических величин (меньше 8–10 ‰).

При анализе размеров и индивидуальных весов организмов макрозообентоса двух эстуариев (Лапшагинского и Чернореченского) выявляется общая тенденция уменьшения размеров и индивидуального веса беспозвоночных от нижней и средней литорали (больше мии и мидии) в сторону верхней (преобладают олигохеты и гидробия) и от опресненного района эстуария к мористому (больше макомы, мии, мидии). При этом в обоих эстуариях преобладали мелкие виды беспозвоночных (средние размеры варьировали в пределах 3–12 мм) – в основном популяции солоноватоводных олигохет и хирономид (с продолжительностью жизни 1–2 года), которые оказываются более приспособленными к пониженной и меняющейся солености воды опресненного участка эстуария.

Таким образом, основные тенденции в изменении пространственной и размерной структуры сообщества макробентоса относительно основных градиентов факторов среды (в продольном направлении – по мере увеличения солености воды и в вертикальном – по мере повышения мареографического уровня от нижних отделов литорали к верхним) совпадают в обоих эстуариях.

Однако в Лапшагинском эстуарии по сравнению с Чернореченским изменения структурных характеристик сообщества вдоль продольной оси (общая плотность, общая биомасса и видовое разнообразие сообщества) выражены не так сильно. В эстуарии реки Черной с значительным и протя-

женным продольным градиентом солености образуется несколько зон, заселенных последовательно сменяющимися комплексами видов – от пресноводных и солоноватоводных до морских.

В заключении отметим, что своеобразие пространственной структуры сообществ эстуарных экосистем нельзя объяснить только продольным градиентом солености. Это своеобразие в значительной степени обусловлено и мареографическим уровнем. И только построение такой системы координат распределения видовых комплексов, позволяет наиболее полно изучить и выявить основные закономерности пространственной структуры сообщества этих уникальных экосистем.

#### **Литература**

Бурковский И.В., 1992. Структурно-функциональная организация и устойчивость морских донных сообществ. М.: Изд-во МГУ. 208 с.

Голиков А.Н., Бабков А.И., 1985. Особенности вертикального распределения литоральных экосистем на примере Белого моря // Океанология. Т. 25. Вып.3 С.519–523.

Сафьянов Г.А., 1987. Эстуарии. М.: Мысль. 190 с.

Столяров А.П., Бурковский И.В., Чертопруд М.В., Удалов А.А., 2002. Пространственно-временная структура литорального сообщества макробентоса в эстуарии (Кандалакшский залив, Белое море) // Успехи соврем. биол. Т. 122. № 6. С.537–547.

Evans R.G., 1957. The intertidal ecology of some localities on the Atlantic coast of France // J. Ecol. V.45. № 1. P.245–271.

Zhou Shiqiang, Guo Feng, Tian Yue, Wu Lisheng, Li Rongguan., 2001. Studies on island intertidal benthic ecology in Fujian // Acta Oceanol. Sin. V. 20. № 3. P. 417- 425.

### **PARTICULARITIES SPATIAL STRUCTURE OF THE LITTORAL MACROBENTHOS OF THE LAPSHAGIN LIP AND BLACK RIVER ESTUARY (KANDALAKSHA BAY, WHITE SEA)**

**A.P. Stolyarov**

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia  
e-mail: macrobenthos@mail.ru

Along longitudinal axis of the Lapshagin and Black river estuaries on the measure of increasing salinity of water occurs an increasing total density, biomasses and species diversity of macrobenthos community, but on the measure of raising of mareographic level (from lower littoral to upper) – decreasing. However changes of the integrated characteristics lengthways of the Lapshagin estuary are expressed more poorly (not so sharply). However longitudinal gradient of structure of macrobenthos community in the Lapshagin estuary is expressed more poorly (not so sharply).

At analysis of sizes and individual weights of organisms of the macrobenthos in these estuaries (Lapshagin and Black river) is revealed general trend of decreasing the sizes and individual weight invertebrates from lower and average littoral (more *Mya arenaria* and *Mytilus edulis*) aside upper (dominate oligochaetes and *Hydrobia ulvae*) and from brackish part of estuary to sea (more *Macoma balthica*, *Mya arenaria*, *Mytilus edulis*).

### **СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ НАГУЛЬНЫХ СКОПЛЕНИЙ МОЛОДИ РЫБ В ЛИТОРАЛИ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

**А.П. Стрельникова, А.С. Стрельников**

Учреждение Российской академии наук Институт биологии внутренних вод  
им. И.Д.Папанина РАН, п. Борок, Ярославская обл., Россия  
e-mail: strela@ibiw.yaroslavl.ru

Пресноводные экосистемы в плане структурированности отдельных сообществ до настоящего времени исследованы слабо и имеющиеся результаты носят фрагментарный характер. В основном исследованы территориальные и внутривидовые группировки молоди полупроходных и туводных видов рыб в период их поклатной миграции. В то же время, на примере естественных сообществ наземных животных показано, что большая роль в организации и трансформации биогеоэкологических структур традиционно отводится среде, во взаимосвязи с которой рассматриваются все со-

ставляющие данный биогеоценоз компоненты. При этом ниши близкородственных и потенциально конкурентных видов являются достаточно дифференцированными, чтобы допустить их сосуществование.

Важным структурным элементом литоральных биогеоценозов является высшая водная растительность. Средообразующая роль фитоценозов в пресноводных водоемах складывается из нескольких моментов. С одной стороны, водная толща и грунт значительно обогащаются различными органическими и минеральными соединениями, продуцируемыми растениями в период вегетации и, особенно, в процессе отмирания и довольно быстрого распада растительной массы. С другой, растительность представляет собой субстрат для огромного числа видов беспозвоночных, как типично водных, так и воздушных организмов, которые используют его на определенных этапах своего жизненного цикла. Интерес гидробиологов к познанию характера биоценологических связей водных растений и животных проявился в появлении ряда публикаций, в которых авторы анализируют состав и количественное развитие различных групп организмов, приуроченным к тем или иным зарослям макрофитов. Однако до сих пор в литературе имеется очень незначительное количество публикаций о значении высшей водной растительности в жизни рыб, особенно на ранних этапах развития. Некоторую информацию по этому вопросу можно найти в работах по результатам изучения численности, питания и пространственного распределения молоди рыб в зоне произрастания макрофитов (Hughes Jeffrey E. Et all., 2002; Okun Nils et all., 2003). Экспериментальные и полевые исследования поведения и распределения молоди рыб показали, что в физически неоднородной среде, рыбы могут запоминать расположение скоплений корма и при необходимости находить их повторно (Mikheev, 2000). При этом высшая водная растительность используется ими в качестве ориентира, особенно на границе между зарослями макрофитов и участками чистой воды. Снижение концентрации зоопланктона вдоль прибрежной зоны связывают с его интенсивным выеданием при перемещении стай молоди вдоль внешней границы водной растительности (Михеев, 2001; 2006). При этом, заросли макрофитов выполняют и защитную функцию как для беспозвоночных (Зимбалева, 1981), так и для рыб.

Изучение видовой, пространственно-временной и трофической структуры многовидовых группировок молоди рыб в литоральной зоне Рыбинского водохранилища проводились в 1991–2000 годы и продолжены до настоящего времени, в связи с натурализацией в водоем новых видов кормовых беспозвоночных и рыб.

Сбор материала производился стандартными орудиями лова (ихтиологическим сачком, ловушками, и мальковой волокушей) на участках, различающихся характером грунтов, степенью зарастания их высшей водной растительностью, а также защищенности от воздействия сгонно-нагонных течений и ветровой деятельности. Это станции защищенного побережья с растительностью и станции открытого побережья с песчаным дном Волжского, Моложского и Шекснинского плесов. Кроме этого исследованы заросшие мелководья устьевых участков рек. Анализировался общий улов молоди на одно усилие.

**Видовая структура.** Среди обитающих в Рыбинском водохранилище 38 видов рыб по типу нереста преобладают фитофилы, т.е. рыбы, откладывающие икру на растительность. К ним относятся почти все карповые виды и щука. Сходные требования к среде обуславливают их совместное обитание в общих стаях, что усложняет структуру последних. Видовой состав стай молоди в течение нагульного периода несколько меняется в связи с тем, что реакция молоди разных видов на гидрологические и погодные условия различны и их появление в стаях и отход в открытое водохранилище происходит в разное время.

Анализ уловов показал, что доминирующими видами в нагульных скоплениях молоди рыб на защищенных мелководьях с растительностью являются плотва и окунь. Значительное количество молоди леща отмечено в литоральной зоне Волжского и Моложского плесов. При этом молодь плотвы, леща и синца до определенного этапа развития держится в общих стаях. Размер последних определяется как степенью зарастания мелководья, так и удаленностью их от берега. Как показали исследования Л.К.Ильиной (1968), изучавшей местные перемещения и структуру стай молоди рыб в прибрежной части Рыбинского водохранилища и наши наблюдения, в стае, как правило, преобладает какой-либо один вид, например, плотва. Синец и лещ, а в более поздние сроки наблюдений, и уклейка представляет собой лишь дополнение. Доминирование какого-либо одного или двух видов не бывает постоянным. Количественное соотношение видов в стаях постоянно меняется. Мы наблюдали ситуацию, при которой стая на 81% состояла из плотвы, на 5% из синца и на 14 % из личинок леща.

С 2000 года в водохранилище, на мелководьях Волжского плеса, отмечена большая численность трубконосого бычка-цулика *Proterorhinus marmoratus* (Pallas, 1811) – короткоциклового малоразмерного дельтово-эстуарного вида, представителя понто-каспийской фауны. Его плотность на 1 м<sup>2</sup> превышает плотность плотвы на разных биотопах от 6 до 15 раз (Стрельникова с соавтр., 2001; Тютин с соавтр., 2007).

Пространственная структура. Наблюдения за формированием простейших групп совместно обитающей молоди фитофильных видов рыб, размножающихся на прибрежных мелководьях Рыбинского водохранилища, показало, что молодь разных видов держится на нерестилищах все лето, так как пестрота обстановки, различные глубины, островки, полузатопленный кустарник, разная плотность прибрежно-водной растительности создают условия экологической изоляции. Это важно, учитывая тот факт, что по мере роста и развития личинок и мальков особи разных видов меняют места нагула в дневные и ночные часы, распределяясь на разных микробиотопах. Для ранних личинок синца и леща наиболее характерным местом нагула являются густые заросли макрофитов, в то время как личинки плотвы и густеры отмечены в более редкой растительности и растительности средней плотности, соответственно. Среди сравнительно редкой растительности и у затопленных кустов встречаются личинки язя и окуня. При продвижении растительности вглубь водоема молодь отходит от береговой полосы, однако держится в зоне макрофитов. Наиболее характерно такое перемещение для молоди плотвы. Личинки леща и густеры не меняют своего положения относительно берега, а синец отходит на глубины до 70 см и занимает участки, расположенные вдоль края растительности. При этом личинки держатся в поверхностных слоях воды. В конце личиночного – начале малькового периода развития, молодь леща меняет место своего обитания, опустившись на глубину до 50–70 см. Молодь синца продолжает нагуливаться в толще воды. Сеголетки, в дневные часы, концентрируются в небольших просветах между зарослями растений. Перемещение их вглубь водоема на участки открытой воды и обратно, в зону зарослей, связано как с изменением погодных условий, так и под влиянием колебания уровня воды. Чувствительность к восприятию этих факторов у молоди появляется к концу личиночного периода развития. Отход сеголетков всех видов рыб с мелководья происходит в конце лета и связан с понижением уровня воды.

Необходимо отметить, что на стациях защищенной литорали, среди растительности, нагуливаются личинки и мальки щуки. Их низкие количественные показатели в пробах не отражают истинного положения дел. Просто молодь этого вида рыб достаточно мобильна и уходит из орудий лова. О том, что мальки щуки нагуливаются в защищенном побережье в зоне обитания молоди карповых видов и окуня свидетельствует состав их рациона при переходе на хищное питание.

Помимо щуки, в вечерние и ночные часы в заросли высшей водной растительности на защищенном побережье заходят мальки судака, начиная с этапов развития *E* и *F*. До этого периода личинки судака нагуливаются на открытых участках литорали с песчаным дном. Вместе с ними в прибрежной зоне отмечены личинки и мальки окуня, корюшки, а в последнее время и тюльки (Степанов с соавтр., 2008).

Молодь реофильных видов рыб, как показал анализ видового состава уловов на мелководных устьевых участках рек, держится, в основном, в районе прибрежных зарослей макрофитов на границе транзитного потока.

Размерно-возрастная структура. Различия в размере и возрасте молоди в стаях обусловлены сроками и характером нереста отдельных видов рыб, продолжительностью развития икры и прохождения личинками отдельных этапов развития. Определяющими факторами, при этом, являются уровень и температурный режимы. Так, например, анализ структуры стай молоди в многоводный год с равномерным, без резких колебаний, ходом нарастания температуры воды, показал, что личинки плотвы и синца уже в конце мая находились на этапах развития *C*<sub>1</sub> и *C*<sub>2</sub>, которые характеризуются полным переходом на питание внешним кормом. В лещево-плотвичных стаях личинки леща на данных этапах развития отмечены лишь в первой декаде июня. Личинки густеры и уклей этого возраста стали попадаться к концу второй-началу третьей декады.

В годы с крайне неблагоприятными условиями нереста, обусловленными поздним залитием мелководной зоны водохранилища и резким повышением температуры воды, сроки размножения рыб с разным температурным порогом нереста совпали. В итоге, личинки плотвы, синца, леща и густеры появились в водоеме почти одновременно и их переход на питание внешним кормом произошел в начале первой декады июня, когда все они находились на этапе развития *C*<sub>1</sub>. Необходимо

отметить, что в результате интенсивного прогревания мелководной зоны, уже в конце первой – начале второй декады месяца произошло снижение численности некоторых видов коловраток и молоди ветвистоусых рачков, основных пищевых объектов личинок рыб при переходе на экзогенное питание. Как следствие, у личинок перечисленных видов наблюдалась замедление скорости прохождения этапа  $C_1$ . Личинки леща и густеры перешли на последующий этап развития лишь к середине июня. Нарушение темпов наращивания температуры воды во время нереста и выклева личинок привело к тому, что дифференциация особей разных видов по возрастному принципу не произошла. Не наблюдалось и расхождение спектров питания личинок из многовидовых группировок, обеспечивающее наиболее полное использование кормовых ресурсов. Считается, что постепенный и непрерывный темп прогрева воды, в период развития личинок рыб, является одним из условий успешного развития молоди (Давыдова, 2001; Мухина, 2001).

Личинки окуня и судака на стациях открытого побережья литорали были отмечены в конце мая. В середине второй декады июня в стаях молоди уже встречались особи окуньков на мальковом этапе развития. В это же время появились и мальки судака.

Размерная разнокачественность молоди на ранних этапах развития зависит от сроков и характера нереста. Если икротечение рыб проходит дружно, в довольно сжатые сроки, то и размеры молоди колеблются в небольших пределах. Вариационная кривая одновершинна и сжата с боков (Ильина, 1968). Различия в размере молоди карповых из разных стай невелики и наблюдаются, главным образом там, где зона зарослей широкая и сеголетки держатся среди растительности разной плотности, не совершая больших перемещений. Как показали наблюдения, на одном и том же этапе развития личинки леща вблизи берега мельче, чем вдали от него, а у плотвы крупнее. Различия размеров личинок в стаях разных зон говорит об относительной их обособленности, хотя в пределах одной зоны стайки все время переформируются, объединяются и дробятся. По мере роста молоди увеличивается ее разнокачественность, так как все большее значение приобретают условия питания. При этом, степень дифференциации молоди окуневых видов рыб и щуки по размерному признаку более значительна, чем у карповых.

Трофическая структура. Первыми, из карповых видов рыб, на нерестилище приходят плотва и синец, затем густера и лещ, и последней нерестится уклей. Примерно в такой же последовательно происходит и появление личинок в водоеме. Поэтому к моменту перехода личинок леща на питание внешним кормом (этап  $C_1$ ) синец, как правило, успевает пройти 4 личиночных этапа развития и находится на этапе  $D_2$ . Следовательно, начало взаимоотношений на основе питания у личинок синца и леща происходит на разных уровнях развития, характеризующихся различными возможностями, связанными с разной степенью доступности кормовых объектов. Кроме этого, молодь этих видов нагуливается на разных микробиотопах. Поэтому степень сходства состава пищи (СП-коэффициент) у личинок указанных видов в это время была невысокая. В дальнейшем, по мере роста и развития молоди, значение этого показателя возрастало и достигало более 70%. Общими объектами питания были *Bosmina*, *Polyphemus* и личинки хирономид. Анализ качественного состава зоопланктона в этот период показал, что указанные формы беспозвоночных являлись доминирующими. Так, в период массового прохождения синцом и лещом этапов развития  $D_1$  и  $D_2$  относительная численность *Polyphemus*, например, составляла от 58.9 до 100% (в разные часы суток). Что же касается личинок хирономид, то молодь леща переходит на питание этим кормом уже на этапе  $C_2$  и к этапам развития  $D_1$  и  $D_2$  эта пища для нее обычна, а синец начинает поедать мелких личинок хирономид лишь на этапе  $D_1$ . Так что интенсивность питания этим кормом, на определенном отрезке времени, у личинок различна и значение его в пище синца ниже, чем у леща. В дальнейшем спектры питания личинок этих видов рыб расходятся в связи с тем, что лещ, начиная с этапа  $E$ , отходит на более глубокие места и в его спектре питания появляются организмы, ведущие придонный образ жизни, такие как *Leydigia* и *Alona*, которые в большей степени отмечены в дневные часы. Вечером молодь леща откармливается в зоне зарослей и доминирующее значение в питании приобретают личинки хирономид. У синца, который не меняет место своего обитания, т.е. продолжает оставаться в толще воды, преобладающими объектами питания являются пелагические ракообразные.

В большей степени сходство состава пищи отмечено у личинок леща и плотвы. СП-коэффициент составлял 82.8%. Это объясняется двумя причинами: во-первых, сроки нереста у леща и плотвы довольно близки и продолжительность периода, когда личинки плотвы, появившиеся раньше, не контактируют на почве питания с личинками леща – незначительный, всего два этапа. По-

этому в личиночный период развития расхождение спектров питания, обусловленное определенной стадией развития, не произошло. Во-вторых, места нагула молоди, а именно, обитание на ранних этапах развития в зоне произрастания водной растительности, определило потребление одних и тех же кормовых организмов, и, в первую очередь, личинок хирономид. В дальнейшем в питании плотвы, нагуливающейся среди зарослей макрофитов, доминировали личинки хирономид, *Chaoborus*, стрекоз, ручейников, остракоды и взрослые насекомые.

Наименьшее сходства состава пищи отмечено у личинок синца и плотвы. Средний СП-коэффициент у этих видов равен 33.2%. Это результат того, что они нагуливаются на разных микробиотопах – плотва среди растительности, синец – на открытых участках воды.

Высокая степень сходства питания личинок леща и густеры в значительной степени обусловлена потреблением ветвистоусого рачка *Bosmina*. Общими кормовыми объектами для них являлись также *Alonopsis*, *Chydorus*, *Rhynchotalona*, науплии копепоид и *Tendipedidae*. Пища этих двух видов по существу состояла из одних и тех же организмов, разница заключалась лишь в сроках их потребления и степени использования отдельных форм. Сходство состава пищи молоди язя и других видов карповых рыб, в среднем составляет около 10%. У личинок окуня и судака наивысшая степень пищевого сходства отмечена на личиночных этапах развития при питании мелкими ветвистоусыми и веслоногими рачками. В дальнейшем, наиболее крупные особи начинают потреблять *Leptodora*, *Bythotrephes*, *Heterocope*, *Eurytemora*, в то время как спектр питания мелких остается без изменений. В ночные часы наблюдается интенсивный подход судачков в зону зарослей и в питании 20% мальков обнаружена молодь карповых.

Соотношение отдельных видов личинок карповых рыб и окуня в рационе сеголетков щуки постоянно меняется. Уход личинок синца на этапах развития *E* и *F* на открытые участки побережья лишенные зарослей, снижает пресс молоди щуки. И наоборот, подход в зону зарослей окуня, в начале малькового периода развития, приводит к увеличению доли этого вида рыб в рационе щуки (Иванова с соавтр., 1982).

Таким образом, определенная разобщенность во времени появления личинок в водоеме, обитание на разных микробиотопах и структура стай уменьшает возможность возникновения напряженных пищевых отношений у молоди близкородственных видов, нагуливающих на одних и тех же биотопах. Исследования последних лет позволили выявить функциональную роль литоральных фитоценозов в сложной системе взаимоотношений живых организмов, обитающих в зоне зарослей высшей водной растительности. Классический путь трансформации органического вещества в водных экосистемах: фитопланктон-мирные беспозвоночные-рыбы, на заросших макрофитами биотопах литорали дополняются еще двумя направлениями- фитоперифитон-мирные беспозвоночные-рыбы и растительный детрит-мирные беспозвоночные-рыбы.

*Работа выполнена в рамках Программы ОБН РАН «Биологические ресурсы России».*

### Литература

Давыдова С.В., 2001. Ранний онтогенез рыб (К вопросу понимания природы смертности) // Вопросы рыболовства. Приложение 1: Материалы Всероссийской конференции «Ранние этапы развития гидробионтов как основа формирования биопродуктивности и запасов промысловых видов в мировом океане». Москва. С. 65–68.

Зимбалева Л.Н., 1981. Фитофильные беспозвоночные равнинных рек и водохранилищ // Киев: «Наукова думка». 214 с.

Иванова М.Н., Лопатко А.Н., Мальцева Л., 1982. Пищевые рационы и кормовые коэффициенты молоди щуки в Рыбинском водохранилище // Вопросы ихтиологии. Том 22. Вып. 2. С. 233–239.

Ильина Л.К., 1968. Местные перемещения и структура стай молоди рыб в прибрежной зоне Рыбинского водохранилища // Биологические и гидрологические факторы местных перемещений рыб в водохранилищах. Л.: Наука. С. 182–202.

Михеев В.Н., 2001. Поиск корма и успех питания у молоди рыб: роль течений и ориентиров // Вопросы рыболовства. Приложение 1: Материалы Всероссийской конференции «Ранние этапы развития гидробионтов как основа формирования биопродуктивности и запасов промысловых видов в мировом океане». Москва. С. 172–178.

Михеев В.Н., 2006. Неоднородность среды и трофические отношения у рыб // Москва: Наука. 191с.

Мухина Н.В., 2001. Роль температуры воды в раннем онтогенезе пикши Баренцева моря //

Вопросы рыболовства. Приложение 1: Материалы Всероссийской конференции «Ранние этапы развития гидробионтов как основа формирования биопродуктивности и запасов промысловых видов в мировом океане». Москва. С.188–189.

Степанов М.В., Кияшко В.И., 2000. Роль тюльки (*Clupeonella cultriventris* (Nordmann)) в питании хищных рыб Рыбинского водохранилища // Биология внутренних вод. № 4. С. 86–89.

Стрельникова А.П., Столбунов И.А., 2001. Распределение и плотность молоди рыб на мелководьях Рыбинского водохранилища // Экологические проблемы Верхней Волги. Ярославль. С. 171–179.

Тютин А.В., Слынько Ю.И., Медянцев Е.Н., 2007. Бычок-цуцик *Proterorhinus marmoratus* (Gobiidae, Pisces) – новый переносчик паразитических инфузорий в бассейне Верхней Волги // Ихтиологические исследования на внутренних водоемах: Материалы международной научной конференции. Саранск: Мордовский гос. ун-т. С. 173–175.

Hughes Jeffrey E., Deegan Linda A., Weaver Melissa J., Cocta Joseph E., 2002. Regional application of an index of estuarine biotic integrity based on fish communities // Estuaries. 25. N 2. P. 250–263.

Mikheev V.N., 2000. Foraging behavior of fishes and habitat complexity: searching prey selection and conflict of motivations // Journal of Ichthyology. V. 40. Suppl. 2. P. 262–270.

Okun Nils, Mehner Thomas., 2003. Reed as an alternative habitat for young fishina shallow entrophic lake // Int/ Ver/ Theor. and angew. Limnol. 28. Pt. 4. P. 1669–1672.

## STRUCTURAL ORGANIZATION OF FORAGING ASSEMBLAGES OF FISH JUVENILES IN THE LITTORAL OF THE RYBINSK RESERVOIR

A.P. Strelnikova, A.S. Strelnikov

Papanin Institute for biology of inland waters of the Russian academy of sciences, Borok, Yaroslavl reg., Russia  
e-mail: strela@ibiw.yaroslavl.ru

Specific, spatial, size-age and trophic structure of juvenile fish aggregations in the littoral zone of the Rybinsk reservoir was studied. It was shown that certain dissociation in the terms of fish larvae appearance in the waterbody, their habitation in different microbiotopes and aggregation structure decreases the probability of intense food relations in juveniles of closely related species. Functional role of littoral phytocenoses in the complex system of living organisms' interrelations inhabiting the zone of macrophyte beds was elucidated. Classic way of organic matter transformation in water ecosystems phytoplankton-nonpredatory invertebrates-fish is supplemented by two more directions in the littoral biotopes overgrown with macrophytes: phytoperiphyton-nonpredatory invertebrates-fish and vegetable detritus-nonpredatory invertebrates-fish.

## ВЛИЯНИЕ ЛЕКТИНОВ РАЗЛИЧНОЙ УГЛЕВОДНОЙ СПЕЦИФИЧНОСТИ НА ГЕМОЛИТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ГЕМОЦИТОВ МИДИИ *MYTILUS EDULIS*

А.Н. Сухачев<sup>1,2</sup>, И.В. Кудрявцев<sup>1,2</sup>, К.Е. Николаев<sup>3</sup>, К.В. Галактионов<sup>3</sup>,  
А.Д. Харазова<sup>2</sup>, А.В. Полевщиков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ГУ НИИ экспериментальной медицины РАМН, г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург,

<sup>3</sup> Зоологический институт РАН, г. Санкт-Петербург

e-mail: ovechka21@yandex.ru

Распознавание углеводных детерминант на поверхности патогена играет важную роль в системе защитных реакций врожденного иммунитета различных групп животных. В настоящее время углевод-распознающие рецепторы, равно как и скевенджер- и толл-подобные рецепторы, относятся к группе паттерн-распознающих молекул, которые связываются со специфическими молекулярными паттернами (известными как ассоциированные с патогенами молекулярные паттерны или ПАМП) определенных микроорганизмов. Результатом подобного рода взаимодействий является активация клеточных и гуморальных эффекторных систем, направленных на элиминацию патогена из внутренней среды организма. У беспозвоночных основная функциональная нагрузка по распознаванию и уничтожению патогена приходится на циркулирующие клетки гемолимфы – гемоциты. Гемоциты различных представителей моллюсков несут на своей поверхности широкий спектр углевод-распознающих рецепторов, которые играют ведущую роль в распознавании микроорганизмов и многоклеточных паразитов (Castillo, Yoshino, 2002). Взаимодействие рецепторов со специфическими лигандами приводит к активации циркулирующих клеток, их направленной миграции в место



проникновения патогена и запуску процесса фагоцитоза. В результате происходит уничтожение ; посредством кислород зависимых и кислород независимых механизмов. Если углевод-связывающие молекулы имеют сывороточную локализацию, то они могут повышать эффективность фагоцитоза, выполняя функции опсопинов.

В рамках исследования взаимоотношений паразит-хозяин на примере модели *Biomphalaria glabrata* – трематода *Schistosoma mansoni* было показано, что ключевое значение в распознавании гемоцитами моллюска спорозист *S. mansoni* играют именно белок-углеводные взаимодействия (Boswell, Bayne, 1986). При этом данные молекулы могут иметь как клеточную, так и сывороточную локализацию. Растворимые лектины гемолимфы, сходные по своей углеводной специфичности с ConA, ECA, SBA, TPA и WGA, были обнаружены в гемолимфе моллюска *B. glabrata* (Johnston, Yoshino, 1996). При этом полученные лектины обладали способностью связываться с гликопротеинами и гликолипидами, выделенными с поверхности тегумента спорозист *S. mansoni*. Следует отметить, что система *B. glabrata* – *S. mansoni* является крайне сложной для проведения сравнительно-иммунологических исследований. Весьма перспективными для выполнения такого рода работ служат системы моллюски-трематоды, в которых моллюск играет роль второго промежуточного хозяина. К таким системам относится выбранная нами модель двустворчатые моллюски *Mytilus edulis* – метацеркарии *Himasthla elongata*, некоторые результаты изучения которой приведены в настоящем сообщении.

### Материалы и методы

Объектом исследования стали мидии *Mytilus edulis*, собранные в июле 2008 г. районе Беломорской Биологической Станции «Картеш» им. О.А. Скарлато Зоологического института РАН. В экспериментах было использовано более 60 животных возраста 4–6 лет. Гемолимфу с клетками получали в туберкулиновый шприц из заднего аддуктора моллюска и консервировали 5% (по объему) 0,3 М раствора ЭДТА на фильтрованной морской воде (ФМВ). Клетки отделяли от гемолимфы центрифугированием (7 мин при 200g) и отмывали от ЭДТА модифицированным раствором Дальбекко без  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , содержащим 25 г/л NaCl. При исследовании гуморальных факторов раствор ЭДТА к образцам гемолимфы не добавляли, центрифугирование проводили при аналогичных условиях.

Для изучения гемолитической активности безклеточной гемолимфы и циркулирующих клеток *M. edulis* в качестве клеток-мишеней использовались как интактные, так и опсонизированные различными лектинами эритроциты человека (ЭЧ). В рамках данной работы были использованы следующие лектины: лектин арахиса (PNA, специфичный к  $\beta\text{DGal}$ , Львовский НИИ гематологии и переливания крови, Украина), лектин завязей пшеницы (WGA, специфичный к  $\text{NA}\alpha\text{DGlc}$ , Львовский НИИ гематологии и переливания крови, Украина), конканавалин А (ConA, специфичный к  $\alpha\text{DMan}$ , (Sigma, USA)), лектин улитки (HPA, специфичный к  $\text{NA}\alpha\text{DGal}$ , Львовский НИИ гематологии и переливания крови, Украина), фитогемагглютинин (PHA, специфичный к  $\text{NA}\alpha\text{DGal}$ , Sigma, USA), лектин сои (SBA, специфичный к  $\text{NAcDGal}$ , Львовский НИИ гематологии и переливания крови, Украина), лектин гороха (PSA, специфичный к  $\alpha\text{DMan}$ , Львовский НИИ гематологии и переливания крови, Украина), лектин бузины черной, (SNA, специфичный к  $\alpha\text{NAcNANA}$  (2→6)  $\text{Gal/NAcGal}$ , Львовский НИИ гематологии и переливания крови, Украина), лектин картофеля (STA, специфичный к  $\text{NAcGlc}_3$ , Львовский НИИ гематологии и переливания крови, Украина), лектин чечевицы (LCA, специфичный к  $\alpha\text{-Man}$ , Львовский НИИ гематологии и переливания крови, Украина). ЭЧ опсонизировались лектинами в субагглютинирующих концентрациях, после чего трижды отмывались избытком ФР (7–10 мин при 200g). Для постановки реакции гемагглютинации и гемолиза, методика проведения которых описана ниже, использовалась 1% суспензия ЭЧ, а для оценки гемолитической активности циркулирующих клеток *Mytilus edulis* – 4% суспензия ЭЧ в изотоническом растворе.

Титры гемагглютининов оценивали в реакции гемагглютинации (РГА) по общепринятой методике. РГА осуществляли в 96-луночных круглодонных планшетах для иммунологических реакций («Медполимер», Санкт-Петербург), заполняя лунки 50 мкл ФР. Серийные двукратные разведения исследуемых образцов гемолимфы готовили 8-канальной цифровой пипеткой («Ленпипет», Санкт-Петербург), перенося из лунки в лунку по 50 мкл серийных разведений индивидуальных образцов гемолимфы. Рабочую 1% суспензию ЭЧ добавляли в лунки по 25 мкл. Для оценки уровней

агглютинирующих факторов планшеты инкубировали при комнатной температуре в течение 1,5–2 ч. Реакцию оценивали визуально. Результат реакции выражали в виде титра, равного  $-\log_2 X$ , где  $X$  – последнее разведение гемолимфы, обеспечивавшее формирование типичного агглютината. Гемолитическую активность гемолимфы определяли с помощью реакции гемолиза. Реакцию оценивали визуально через 3 ч после начала РГА. Результат также выражали в виде титра, равного  $-\log_2 X$ , где  $X$  – последнее разведение гемолимфы, при котором наблюдался выход гемоглобина из ЭЧ в раствор.

Для изучения гемолитической активности циркулирующих клеток *Mytilus edulis* был использован метод, являющийся безгелевой модификацией реакции локального гемолиза по Н.К. Ерне. Гемоциты переводили в полную культуральную среду на основе RPMI-1640 с содержанием 24 г/л NaCl, 10 mM HEPES, 2% телячьей эмбриональной сыворотки, 2 mM L-глутамина и 100 мкг/мл пенициллина и 100 Ед/мл стрептомицина (все реактивы – «ПанЭко», Россия), устанавливая концентрацию гемоцитов равной 60 тыс. клеток в 1 мл среды. Клеточную суспензию вносили в 96-луночный планшет (Sarstedt) по 200 мкл, и добавляли 25 мкл 4%-ной суспензии интактных, предобработанных лектинами или десенсибилизированных ЭЧ. После 3 ч инкубации при 10°C образцы центрифугировали (10 мин при 200g), и в надосадках оценивали выход гемоглобина из ЭЧ по оптической плотности (ОП,  $\lambda=405$  нм) на многоканальном спектрофотометре ПИКОН (Москва). Параллельно исследовалась способность гемоцитов, предобработанных лектинами, к лизису нативных ЭЧ. Для этого в культуры клеток вносили растворы лектинов в субагглютинирующих концентрациях, полученных в предыдущих работах, инкубировали 60 мин. при температуре соответствующей температуре морской воды в это время года, после чего добавляли 25 мкл 4%-ной суспензии клеток-мишеней. Для десенсибилизации ЭЧ использовали 1% раствор трипсина на физиологическом растворе, который перед использованием был подогрет до 37° С, pH стабилизировали путем добавления 100 мкл 1M HEPES.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с помощью пакетов программ Excel и STATISTICA 5.0. Итоговые результаты экспериментов выражали в форме средней арифметической и ее ошибки. Для определения статистически значимых различий между независимыми группами нормально распределённых данных использовали t-критерий Стьюдента.

### Результаты и обсуждение

Применение лектинов для решения основных проблем фундаментальной и сравнительной иммунологии, вирусологии и клеточной биологии является одним из перспективных методологических подходов. Лектины тесно связаны с исследованием структуры и функций клеточных мембран, что находит широкое применение в рамках исследования защитных реакций различных представителей беспозвоночных. В ходе серии собственных экспериментов была предпринята попытка оценить влияния лектинов с различной углеводной специфичностью на функциональную активность как циркулирующих клеток, так и белков гемолимфы на примере гемагглютининов и гемолизинов (см. таблица).

В литературе описано несколько способов взаимодействия лектинов и гемоцитов моллюсков (Fryer et al., 1996). Во-первых, это непосредственное связывание углеводов-распознающих структур гемоцитов с лигандами на поверхности патогена. Во-вторых, лектины, входящие или искусственно введенные в состав покровов модельных частиц (например, ЭЧ), взаимодействуют со специфическими углеводными структурами на поверхности гемоцитов, результатом чего является активация клеток. И, наконец, растворимые лектины гемолимфы могут полимеризоваться с образованием сложных комплексов, тем самым, вызывая агглютинацию эритроцитов. В рамках собственных экспериментов второй подход был реализован для исследования клеточных реакций врожденного иммунитета, а третий подход – для изучения гуморальных факторов гемолимфы *M. edulis*.

При исследовании цитолитической активности гемоцитов мидии *M. edulis* было установлено, что лектины, обладающие способностью специфически связываться с терминальными углеводами NAcGlc (лектины картофеля и завязей пшеницы) и NAcGal (лектины сои, бузины черной и улитки), повышают эффективность распознавания гемоцитами эритроцитов человека (см. таблица). Взаимодействие с лектинами приводит к активации гемоцитов, что сопровождается дегрануляцией и высвобождением в окружающую среду широкого спектра лизосомальных ферментов, в том числе ки-

слой и щелочной фосфатазы,  $\beta$ -гликозидазы, аминопептидазы, различных протеаз и липаз (Carballal et al., 1997), что, в конечном итоге, приводит к лизису эритроцитов.

Данные литературы также свидетельствуют о ведущей роли углеводов-распознающих рецепторов циркулирующих клеток моллюсков в процессах распознавания и элиминации патогена. Было показано, что, помимо влияния на цитотоксическую активность гемоцитов, лектины растительного и животного происхождения способны изменять кислородный метаболизм клеток (Hahn et al., 2000). Продукция активных форм кислорода достигала максимума при использовании в качестве стимулятора конъюгата БСА-Gal, что указывает на важную роль в реакциях распознавания молекул галактозы в терминальном положении. Еще одним примером подобных взаимодействий может служить участие лектинов, играющих роль опсонов при взаимодействии с чужеродными субстратами при фагоцитозе у различных представителей двусторчатых моллюсков (Tripp, 1992). Кроме того, использование лектинов, специфичных к NAcGlc и NAcGal, в качестве индукторов пролиферации приводило к достоверному увеличению уровня включения BrdU в гемоциты *M. edulis* (Pipe et al., 1997).

При постановке «обратного» эксперимента, т.е. при обработке гемоцитов лектинами, достоверное увеличение гемолитической активности клеток было зарегистрировано при использовании лектинов картофеля и сои, когда уровень гемолиза достиг  $0,214 \pm 0,024$  и  $0,242 \pm 0,022$  ед.ОП, соответственно. Полученные результаты однозначно указывают на то, что данные лектины способны непосредственно взаимодействовать с поверхностью гемоцитов, вызывая активацию клеток. Использование остальных лектинов не приводило к изменению гемолитической активности клеток. Можно предполагать, что некоторые лектины способны экранировать определенные рецепторы на клетках мидии, тем самым, снижая эффективность распознавания клеток-мишеней, что приводит к снижению уровня лизиса эритроцитов. Этот факт подтверждают данные литературы, указывающие на то, что лектины с различной углеводной специфичностью способны к избирательному связыванию с клетками моллюсков *Mytilus edulis*, *Cerastoderma edule* и *Ensis siliqua* (Wootton et al., 2003). Так, КонА взаимодействует с большинством циркулирующих клеток моллюсков вышеперечисленных видов моллюсков, тогда как лектины завязей пшеницы и арахиса связываются менее чем с половиной гемоцитов. Результаты эксперимента с десенсибилизированными эритроцитами показали, что удаление гликокаликса с поверхности клеток приводит к снижению уровня гемолитической активности, что еще раз указывает на углеводную природу распознаваемых гемоцитами молекул. Вместе с тем, использование лектина сои приводило почти к 3-кратному увеличению цитолитической активности гемоцитов.

При исследовании углеводной специфичности гуморальных факторов гемолимфы мидии было показано, что титр гемагглютининов достоверно возрастал лишь в случае обработки эритроцитов лектинами, специфичными к  $\alpha$ DMan (конА и лектин гороха). Незначительные, в среднем на одно двукратное разведение гемолимфы, увеличения титра гемолизинов были отмечены в случае обработки эритроцитов лектинами завязей пшеницы и арахиса, также специфичными к NAcGlc и NAcGal, соответственно.

Таким образом, в ходе серии экспериментов было показано, что опсонизация эритроцитов млекопитающих лектинами, специфичными к NAcGlc (лектины картофеля и завязей пшеницы) или NAcGal (лектины сои, бузины черной, арахиса и улитки), приводила к усилению гемолитической активности гемоцитов *M. edulis*. Среди гуморальных факторов гемолимфы было зарегистрировано достоверное увеличение титров гемагглютининов при обработке эритроцитов лектинами, специфичными к маннозе. Таким образом, клеточные механизмы врожденного иммунитета играют ключевую роль в распознавании патогена, а наличие углеводных детерминант, специфичных к NAcGlc и NAcGal, значительно повышает эффективность этих реакций. Гуморальные факторы, по-видимому, выполняют вспомогательные функции.

Работа поддержана грантами РФФИ № 07-04-00095, 07-04-01675 и ИНТАС № 05-1000008-8056.

#### Литература

- Boswell C.A., Bayne C.J., 1986. Lectin-dependent cell-mediated cytotoxicity in an invertebrate model: Con A does not act as a bridge // Immunology. V.57. P. 261–264.
- Carballal M.J., Lopez C., Azevedo C., Villalba A., 1997. Enzymes involved in defense functions of hemocytes of mussel *Mytilus galloprovincialis* // J. Invert. Path. V. 70. P. 96–105.

- Castillo M.G., Yoshino T.P., 2002. Carbohydrate inhibition of *Biomphalaria glabrata* embryonic (Bge) cell adhesion to primary sporocysts of *Schistosoma mansoni* // Parasitology. V. 125 (Pt 6). P. 513–525.
- Fryer S.E., Bayne C.J., 1996. Phagocytosis of latex beads by *Biomphalaria glabrata* hemocytes is modulated in a strain-specific manner by adsorbed plasma components // Dev. Comp. Immunol. V. 20. P. 23–37.
- Hahn U.K., Bender R.C., Bayne C.J., 2000. Production of reactive oxygen species by hemocytes of *Biomphalaria glabrata*: carbohydrate-specific stimulation // Dev. Comp. Immunol. V. 24. P. 531–541.
- Johnston L.A., Yoshino T.P., 1996. Analysis of lectin- and snail plasma-binding glycopeptides associated with the tegumental surface of the primary sporocysts of *Schistosoma mansoni* // Parasitology. V. 112. P. 469–479.
- Pipe R.K., Farley S.R., Coles J.A., 1997. The separation and characterisation of haemocytes from the mussel *Mytilus edulis* // Cell Tissue Res. V. 289. P. 537–545.
- Tripp M.R., 1992. Agglutinins in the hemolymph of the hard clam, *Mercenaria mercenaria* // J. Invert. Path. V. 59. P. 228–234.
- Wootton E.C., Dyrinda E.A., Ratcliffe N.A., 2003. Bivalve immunity: comparisons between the marine mussel (*Mytilus edulis*), the edible cockle (*Cerastoderma edule*) and the razor-shell (*Ensis siliqua*) // Fish Shellfish Immunology. V. 15. P. 195–210.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЗОННОЙ ЦИКЛИЧНОСТИ ПЕЛАГИЧЕСКОГО ЗООПЛАНКТОНА ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА

**М.Т. Сярки**

Учреждение Российской академии наук Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН,  
г. Петрозаводск, Россия  
e-mail: MSyarki@yandex.ru

Водные экосистемы обладают рядом свойств, которые диктуют необходимость особых подходов к их исследованию. Ввиду специфики гидробиологических данных для их анализа не всегда применимы стандартные статистические методы. В связи с этим необходим поиск новых подходов к анализу гидробиологических данных (Шитиков и др., 2005; Розенберг и др., 2005). Важной проблемой анализа данных является оценка стохастической компоненты изменчивости. Поскольку гидробиологические данные обладают высокой изменчивостью и в пространстве, и во времени, то определение ее количественной оценки и вероятных причин становится актуальной задачей при определении современного статуса и прогнозирования состояния экосистем.

В природе практически для всех явлений характерна цикличность. Циклы имеют различные масштабы: суточные, месячные, годовые и многолетние (от 3 до 10–12 и более лет). При этом сезонная цикличность относится к самым заметным явлениям в озерах северных широт. Именно сезонные циклы объясняют до 70–80% изменчивости гидробиологических данных, особенно в планктонных системах (Страшкраба, Гнаук, 1989; Сярки, 2007), поэтому учет сезонной динамики необходим для любых оценок и прогнозов. Актуальной проблемой является также оценка реакции водных экосистем на изменение температурного режима. При климатических флуктуациях, например, возможном глобальном потеплении, сдвигаются не только амплитуды колебаний, но и сроки, а также продолжительность весеннего и осеннего периодов (Климат Карелии, 2004; Оценочный доклад..., 2008). Чтобы оценить реакцию природных экосистем, необходимо обратить внимание на даты и продолжительность периодов основных явлений в планктоне, а также на их межгодовую изменчивость. Если для наземных экосистем время событий можно наблюдать непосредственно и даты фиксировать в фенологическом сценарии, то для водных систем, особенно крупных озер, совместить сроки съемок и важных биологических событий невозможно, поэтому определение дат и периодов представляет важнейшую задачу, решить которую можно лишь с применением моделирования.

Большая часть работ, представленных в литературе, описывает сезонные изменения посредством скалярных усредненных величин, иногда с оценкой их разброса. Такие величины не очень подходят для описания процессов, т.к. значительная часть информации о динамике системы в них теряется. Для описания сезонной цикличности как процесса требуется использование динамических понятий – скорости, траектории, особые точки, фазовые сдвиги, синхронность процессов и т.д. Одним из самых известных динамических методов изучения природных систем является имитационное моделирование. Но он имеет определенные ограничения, и при увеличении числа моделируе-

мых элементов и, соответственно, большом количестве параметров, модель становится информационно необеспеченной и, следовательно, неадекватной объекту исследования (Страшкраба, Гнауик, 1989; Шитиков и др., 2005). Кроме того, метод имитационного моделирования не может дать оценку реальной изменчивости процессов, которые могут быть определены только в результате анализа эмпирических данных.

Нами предложен новый подход – аппроксимация эмпирических данных заданной функцией, значения которой описывают ход сезонной динамики и одновременно служит критерием для выявления особых событий в жизни планктона, в том числе нарушения естественного цикла. Основная идея, положенная в основу данной работы, состоит в том, чтобы рассматривать планктон пелагиали как систему, совершающую постоянные циклические колебания. Цикличность сезонных изменений планктона (численности, биомассы, как общих, так и видовых) и других характеристик (первичной продукции, температуры и т.д.) имеет некую среднюю траекторию, вокруг которой с той или иной вероятностью реализуются конкретные состояния системы. Экстремальные воздействия факторов среды вызывают в системе сильные отклонения от средней траектории, которые могут быть описаны и оценены с применением предлагаемого подхода. В данной работе анализируются явления, масштаб которых связан с годовой цикличностью. Изменчивость меньшего масштаба (суточная и месячная) входит в состав ее стохастической компоненты.

При формализации сезонной цикличности были сделаны следующие допущения:

1. Существует среднемноголетняя траектория сезонного изменения величин, и она может быть описана плавной гладкой функцией подходящей формы, где предикторной величиной является время (в сутках с начала года);
2. Эмпирические данные гидробиологических съемок, кроме сильно отскакивающих, отклоняются от среднемноголетней величины случайно, т.е. имеют случайную ошибку относительно наблюдаемой модельной средней;
3. Дата каждого измеренного значения также имеет случайную ошибку относительно среднемноголетнего модельного состояния.

Для того чтобы описать сезонную цикличность планктона как процесса, т.е. распределение величин по времени, был применен метод аппроксимации функцией, имеющую кривую соответствующей формы (Сярки, Чистяков, 2008). Предполагается, что модельная функция описывает некую среднюю величину на каждые сутки вегетационного периода. Возможно, что эта величина никогда не будет отмечена при конкретных измерениях, но она будет считаться наиболее вероятной в модели.

Как было установлено многолетними исследованиями, траектория сезонного изменения многих величин зоопланктона под квадратным метром представляет собой асимметричную колоколообразную кривую, аналогичную температурной кривой (Куликова и др., 1997). Зимнее подледное состояние системы предполагается квазистабильным, т.к. масштабы явлений в этот период очень малы по сравнению с амплитудами колебаний в годовом цикле, поэтому предполагается, что на концах функция приближается к постоянной величине и ее производная равна нулю. Одни и те же ряды данных могут быть достаточно точно аппроксимированы функциями различных классов. Нами были проверены несколько классов функций и показано, что они достаточно близко описывают одни и те же данные. Поскольку многие процессы в пелагиали зависят от температуры воды, в основу аппроксимации была положена функция, хорошо зарекомендовавшая себя в описании сезонного изменения температуры воды (Толстиков и др, 2004; Пальшин, Ефремова, 2005) и сезонного хода некоторых величин планктона (Сярки, 2007; Теканова, Сярки, 2008).

Особенностью предлагаемого подхода является модификация метода поиска параметров функции, при котором минимизируются не величины по абсциссе (как при стандартном регрессионном методе), а расстояния от точки до кривой (перпендикуляр к касательной или проекция точки на кривую функции). Эти расстояния считаются остатками и минимизируются при поиске параметров функции. Поскольку функция имеет сложную форму и ее касательные располагаются под различными углами, в остатках появляются две компоненты – по абсциссе и ординате. Было сделано предположение, что в данном случае можно провести аналогию с моделью конфлюэнтного анализа, предполагающего наличие наряду с изменчивостью зависимой переменной – изменчивость независимой величины, в нашем случае, времени (Айвазян и др., 1985). Это вполне реальное предположение, поскольку сдвиги по срокам развития планктона постоянно наблюдаются на всех водных объ-

ектах и тесно связаны с межгодовой изменчивостью в термодинамическом режиме. Условия применения конъюнктного анализа для имеющихся рядов данных и заданной функции проверялись эмпирическим путем (Айвазян и др, 1985). Аналитическая обработка включала: анализ формы распределения величин, поиск функций, адекватно описывающих процесс их изменения, расчет дисперсии, биологическую интерпретацию полученных результатов. Вычисление параметров функции производилось методом Ньютона с помощью оригинального алгоритма в пакете Exel (Коросов, 2002).

В работе использовалась информационная база данных по Онежскому озеру. Ряды данных, в зависимости от изученности, содержали от 25 до 40 членов. Влияние антропогенного воздействия отслеживалось на данных по Кондопожской губе, испытывающей нагрузку сточных вод Кондопожского ЦБК. Максимальная нагрузка наблюдалась в вершинной части губы, по мере удаления от места сброса стоков степень влияния снижалась. Глубоководные участки Онежского озера принимались за контрольные районы с естественным статусом (Куликова, Сярки, 2004).

В целом, модель сезонной цикличности представляет собой серию функций и их параметров, которые описывают среднеемноголетнее состояние величин численности и биомассы различных элементов планктона и некоторых факторов среды на каждые сутки вегетационного периода (май – сентябрь).

Как пример, представлена модель, описывающая сезонную динамику биомассы рачкового планктона в олиготрофном районе Онежского озера (Большое Онего) (рис. 1).

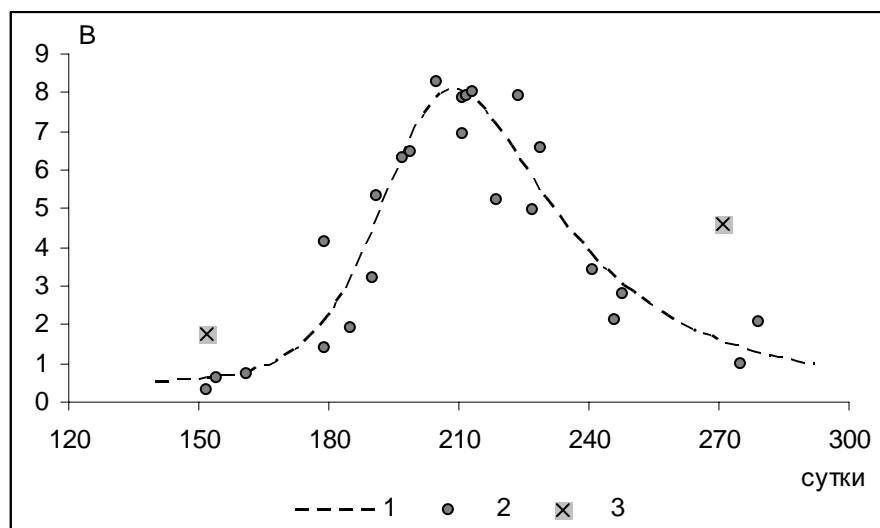


Рис. 1. Сезонная цикличность биомассы рачкового планктона ( $B$ ,  $г/м^2$ ) в олиготрофном районе Онежского озера

1 – модельная кривая; 2 – эмпирические данные; 3 – отскакивающие точки

Среднемноголетний максимум биомассы рачкового планктона приходится на 209 сутки с начала года или примерно на 30–31 июля. В среднем для данного ряда ( $n=30$ ) величина временного сдвига составляет 4.5 суток, а стандартное отклонение остатков  $\delta = 7,2$  суток. Подобные величины соответствуют экспертным представлениям о межгодовых колебаниях в состоянии планктона. Большая часть данных расположена в коридоре  $\pm 2\delta$ . Максимальный разброс дат основных явлений может составлять примерно  $\pm 3\delta$  или около  $\pm 22$  суток, что сопоставимо с временной изменчивостью основных дат гидрологических и гидротермических режимов разных лет, разброс которых может достигать месяца или более (Климат Карелии, 2004; Онежское озеро, 1999).

Экспертные оценки показывают, что модельная кривая достаточно корректно описывает сезонный ход величины и распределение эмпирических данных вокруг нее. На кривых выделяются особые точки, которые можно соотнести с важными для сообществ событиями, а именно, датами и величинами максимумов, периодами максимальных абсолютных и относительных скоростей прироста величины, точками перегибов и т.д. Непрерывность функции позволяет вычислять динамиче-

ские характеристики и скорости процессов, которые являются важнейшим экологическим параметром для сообществ, основных групп планктона и отдельных видов. Синхронность процессов и скоростей в разные периоды несет ценную информацию о жизнедеятельности и функционировании планктона в сезонном цикле.

Встречающиеся в рядах данных сильно отскакивающие точки (более чем на 3–4  $\delta$ ) представляют большой интерес, так как могут являться индикаторами спорадического воздействия естественных или антропогенных факторов. Например, вынос трансформированных сточных вод из Кондопожского залива в олиготрофный залив Большое Онего трудно проследить т.к. он является спорадическим и часто не совпадает по времени с гидробиологическими съемками. Использование модели позволило отразить и проанализировать этот процесс, например, по показателям суточной первичной продукции (Сярки, Теканова, 2008).

Соотношение изменчивости процессов также представляет новую информацию о состоянии планктона. Количественные оценки изменчивости производились на основе сравнения статистик для остатков, в частности, величины стандартного отклонения. Так, анализ оценок изменчивости по динамике биомассы рачкового планктона показал, что в целом она имеет сходные значения, как в открытом озере, так и в Кондопожской губе, несколько повышаясь в центральной ее части. Но для биомасс группы кладоцер картина иная. Если в вершинной и открытой части губы они были близки, то в центральной части губы неустойчивость в динамике кладоцер была выше, а в олиготрофной районе Большое Онего значительно ниже, чем подобные величины для рачкового планктона (табл.).

**Изменчивость данных по биомассе рачкового планктона и кладоцер.  
Дисперсия (стандартное отклонение) остатков**

	Кондопожская губа			Залив Большое Онего
	Вершинная часть	Центральная часть	Открытая часть	
Биомасса рачкового планктона	8,3	18,0	10,4	9,1
Биомасса кладоцер	10,5	22,5	9,2	3,6

Причина подобных характеристик изменчивости в динамике этой группы заключается в экологических свойствах составляющих ее видов. В холодноводном районе большого залива развитие кладоцер сильно зависит и даже лимитируется температурным режимом, т.е. скоростями прогрева и охлаждения вод. Поскольку температурный режим в этом районе носит стабильный характер (Онежское озеро, 1999), то и в развитии группы кладоцер изменчивость мала. В центральной части Кондопожской губы, в отличие от остальных ее районов, неустойчивость возникает из-за спорадического влияния трансформированных сточных вод Кондопожского ЦБК. В зависимости от ситуации во время гидробиологической съемки мы отмечаем либо высокие, либо низкие численности кладоцер, что повышает оценки межгодовой изменчивости. В вершинной части, где интенсивность антропогенного влияния достаточно постоянна, и в открытой части, где оно отмечается редко, изменчивость биомасс этой группы ниже. Таким образом, оценки изменчивости дают дополнительную информацию о ненаблюдаемых непосредственно явлениях и подтверждают наши предположения о высокой индикаторной роли группы кладоцер и отдельных ее видов в Онежском озере (Куликова и др, 1997).

Представленный подход к описанию сезонной цикличности открывает новые перспективы в исследовании устойчивости водных экосистем и повышении точности прогнозов. Применение модели позволит оценить изменчивость планктонных систем, уменьшить неопределенность в описании их сезонной цикличности, в определении основных фенологических дат сезонных процессов и прогнозировании реакции озерной экосистемы на возможные климатические изменения.

Для сравнения внутригодовой и межгодовой изменчивости было рассчитано соотношение общей дисперсии ряда без учета сезонной цикличности (принимаемой за 100 %) и дисперсии остатков при аппроксимации. Предполагалось, что дисперсия остатков уменьшилась за счет формализации сезонной цикличности. Для величин планктона объясненная внутригодовой цикличностью и описываемая моделью дисперсия составляет от 50 до 80 % общей дисперсии, а 20–50% остаточной дисперсии приходится на межгодовую и стохастическую изменчивость. Такое соотношение дисперсий указывает на высокую устойчивость экологических процессов в глубоководных районах Онежского

озера, пелагиаль которых еще сохраняет свой естественный олиготрофный статус. В районах, где изменчивость сезонной цикличности увеличивается, она служит индикатором антропогенного воздействия и наличия фронтальных явлений.

### Литература

- Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. 1985. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерностей. М.: Финансы и статистика. 487 с.
- Климат Карелии: 2004. Изменчивость и влияние на водные объекты и водосборы. Под ред. Н.Н.Филатова. Петрозаводск. 224 с.
- Коросов А.В. 2002. Имитационное моделирование в среде MS Excel (на примерах из экологии). Петрозаводск: ПетрГУ. 212 с.
- Куликова Т. П., Сярки М. Т. 2004. Влияние антропогенного евтрофирования на распределение зоопланктона в Кондопожской губе Онежского озера // Водные ресурсы, Том 31, № 1. С.91–97
- Куликова Т.П., Кустовлянкина Н.Б., Сярки М.Т. 1997. Зоопланктон как компонент экосистемы Онежского озера. Петрозаводск, 112 с.
- Онежское озеро. Экологические проблемы. 1999. Под ред. Филатова Н.Н. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 293 с
- Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Том II. Последствия изменения климата. 2008. Москва. 288 с.
- Пальшин Н.И., Ефремова Т.В. 2005. Стохастическая модель годового хода температуры поверхности воды в озёрах // Метеорология и гидрология, 2005, №3, с.85–94
- Страшкраба М., Гнаука А. 1989. Пресноводные экосистемы. Математическое моделирование. М., 376 с.
- Сярки М.Т. 2007. Межгодовая изменчивость сезонной динамики планктона пелагиали крупного озера и ее оценка // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды. Матер. III междунар. научн. конф. 17–22 сент. 2007 г., Минск – Нароч. С.71
- Сярки М.Т., Теканова Е.В. 2008. Сезонный цикл первичной продукции в Онежском озере // Известия РАН. Сер. Биологическая. 2008. №5. С.621–625
- Сярки М.Т., Чистяков С.П. 2008. Применение конфлюэнтного анализа для изучения сезонной динамики планктона онежского озера // Математические методы в экологии. Тез. докл. III всеросс. Школы молод. Ученых. Петрозаводск. 24–29 августа 2008 г. Петрозаводск. 2008. С. 126–127
- Толстиков А.В., Петров М.П., Филатов Н.Н. 2004. Влияние изменений климата на океанографические характеристики // Климат Карелии: Изменчивость и влияние на водные объекты и водосборы. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. 2004. С. 130–134.
- Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. 2005. Количественная гидроэкология.: методы критерии, решения. Книга 1. М.: Наука, 281 с.
- Розенберг Г.С., Саксонов С.В., Костина Н.В., Г.Э Кудинова 2005. Оценка состояния и подходы к управлению биоресурсами Средней и Нижней Волги // Фундаментальные основы управления биологическими ресурсами. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2005. С. 351–360.

## THE INVESTIGATION OF SEASONAL CYCLING OF PELAGIC ZOOPLANKTON IN LAKE ONEGO

M.T. Syarki

Northern Water Problems Institute of Karelian Research Centre of RAS,  
Petrozavodsk, Russia, e-mail: MSyarki@yandex.ru

The seasonal cycling variability increases due to disturbing effects of natural and anthropogenic factors. The model was created to evaluate of repeatability and year-to-year variation of zooplankton seasonal cycling (on the example of Lake Onega pelagic plankton system). The model approximates 20-years time series data by continuous function with using elements of confluent analysis. Average annual course of zooplankton values (density and biomass) during vegetation period were described. The ratios of annual and year-to-year variability (ratio of standard dispersion) were calculated. For some zooplankton values these ratios varied from 60 to 80% (explained seasonal cycling) and from 20 to 40% (explained year-to-year variability). These ratios were similar to ones of water temperature variability. It was found that zooplankton variability was low due to stable state of Lake Onega. In region with sporadic anthropogenic impacts, zooplankton is characterized by decreased stability and by large deviations from average cycling. The model may be used in the biomonitoring to obtain more precise prognosis of Lake Onega state.



# ПЕРВИЧНО-ПРОДУКЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОЗЕРА ВЫГОЗЕРА В СВЯЗИ С ИЗМЕНЕНИЕМ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

Е.В. Теканова, Ю.Л. Сластина

Учреждение Российской академии наук Институт водных проблем Севера  
Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск, Россия  
e-mail: etekanova@mail.ru

## Введение

Озеро Выгозеро (Центральная Карелия) на протяжении последнего столетия подвергалось целому ряду антропогенных вмешательств, которые изменили его гидрологический, химический и биологический режимы. Существенное влияние на состояние экосистемы озера оказали сточные воды Сегежского ЦБК, попадающие в северную часть Выгозера с 1936 года. По мере развития производства и объем, и состав сточных вод ЦБК менялся, трансформируя среду обитания биоты водоема.

Первично-продукционные показатели экосистемы наиболее быстро реагируют на изменения среды и являются важнейшим критерием ее функционирования. В связи с этим были проанализированы долговременные закономерности изменения первично-продукционных характеристик северной части Выгозера, принимающей стоки ЦБК (первичная продукция, содержание хлорофилла «а» в воде, его ассимиляционная активность). Хотя таких данных не много, однако, они вполне отражают основные этапы трансформации экосистемы в связи с изменением количества и качества сточных вод Сегежского ЦБК.

## Материалы и методы

Измерения продукции фитопланктона выполнены скляночным методом в кислородной модификации (Винберг, 1960). При пересчете данных на углерод принимался ассимиляционный коэффициент 1,25. Определение концентрации хлорофилла «а» в воде проведено спектрофотометрическим методом с использованием общепринятой формулы расчета (Scor–UNESCO..., 1966). Разница в учете хлорофилла «а» в 1970–80-е и 2000-е гг. заключалась в способах концентрирования водорослей (фильтры с разным диаметром пор) и хранения материала (высушивание или заморозка). Для корректного анализа данных разных лет было проведено экспериментальное сравнение этих способов подготовки материала, в результате чего был получен поправочный коэффициент  $2,1 \pm 0,1$ , увеличивающий данные 1970-х годов.

## Результаты и обсуждение

Используемый на комбинате до 1976 г. сульфатный способ варки целлюлозы и лишь механическая очистка промышленных стоков обуславливали высокую экологическую опасность сточных вод. Со стоками в водоем попадало большое количество органических веществ (ОВ), в том числе ядовитые серосодержащие соединения. В то же время стоки были бедны биогенными элементами и не представляли угрозы эвтрофирования водоема (Харкевич, 1978).

В этот период (1971–1972 гг.) были исследованы показатели первичной продуктивности (Вислянская, Харкевич, 1985). Уровень первичной продукции (табл. 1) вполне укладывался в пределы, установленные для олиготрофных экосистем (Бульон, 1983; Китаев, 1984). Так, суточные скорости фотосинтеза в поверхностном слое воды на акватории Северного Выгозера не превышали пределов  $41\text{--}159 \text{ мг С} \cdot \text{м}^{-3}$ , в фотическом слое воды –  $89\text{--}277 \text{ мг С} \cdot \text{м}^{-2}$  (рис. 1). Лишь в месте попадания в озеро разбавленных сточных вод (приустьевой участок р. Сегежи) продукция фитопланктона достигала уровня мезотрофных экосистем.

Низкий уровень трофии отражало и содержание хлорофилла «а» в фотическом слое воды – от  $0,34$  до  $2,03 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$  (рис. 2). Его суточная ассимиляционная активность (САЧ) при низких абсолютных величинах была довольно высока и достигала  $103,8\text{--}121,5 \text{ мг С} \cdot \text{мг}^{-1}$  (табл. 1). Высокая ассимиляционная активность хлорофилла встречаются в северных олиготрофных водоемах. Например, на подобные САЧ в арктических озерах указывал В.В. Бульон (1983), связывая это с большой продолжительностью дня. На фоне этих значений выделялся прибрежный участок в месте поступления в озеро разбавленных сточных вод, где величины САЧ оказались чрезмерно высоки и более свойственны морским экосистемам (до  $500 \text{ мг С} \cdot \text{мг}^{-1}$ ). Возможно, таким образом проявились адаптационные способности фотосинтетиков к поддержанию биомассы в условиях токсичного влияния сточных вод ЦБК, так как удельный фотосинтез очень чувствителен к изменению экологических условий.

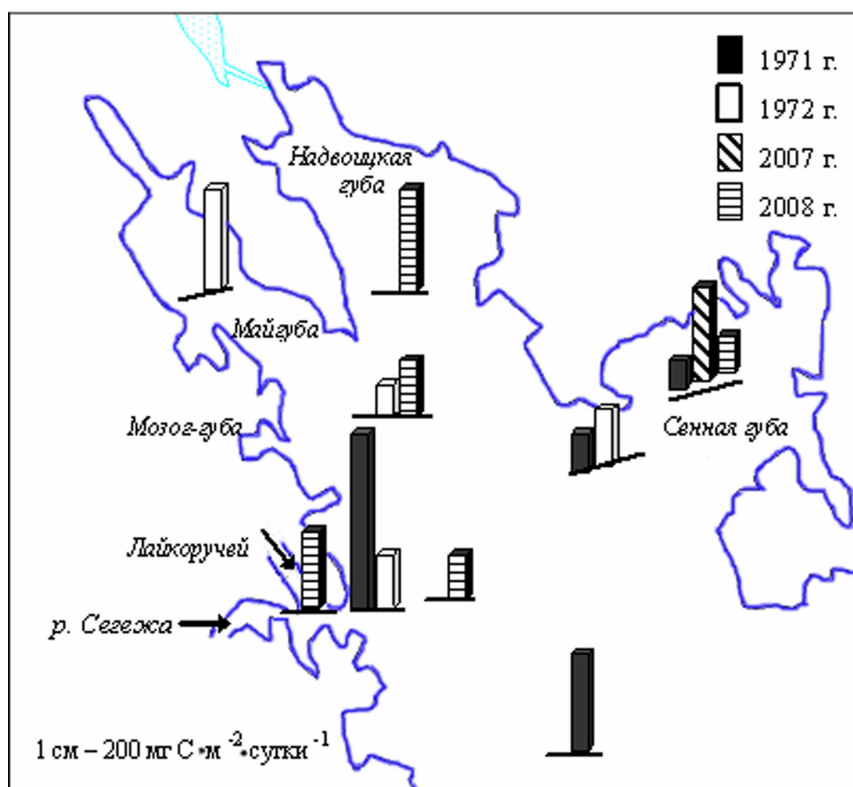


Рис. 1. Первичная продукция в Северном Выгозере в 1971–1972\* и 2007–2008 годах  
\*– по: Вислянская, Харкевич, 1985

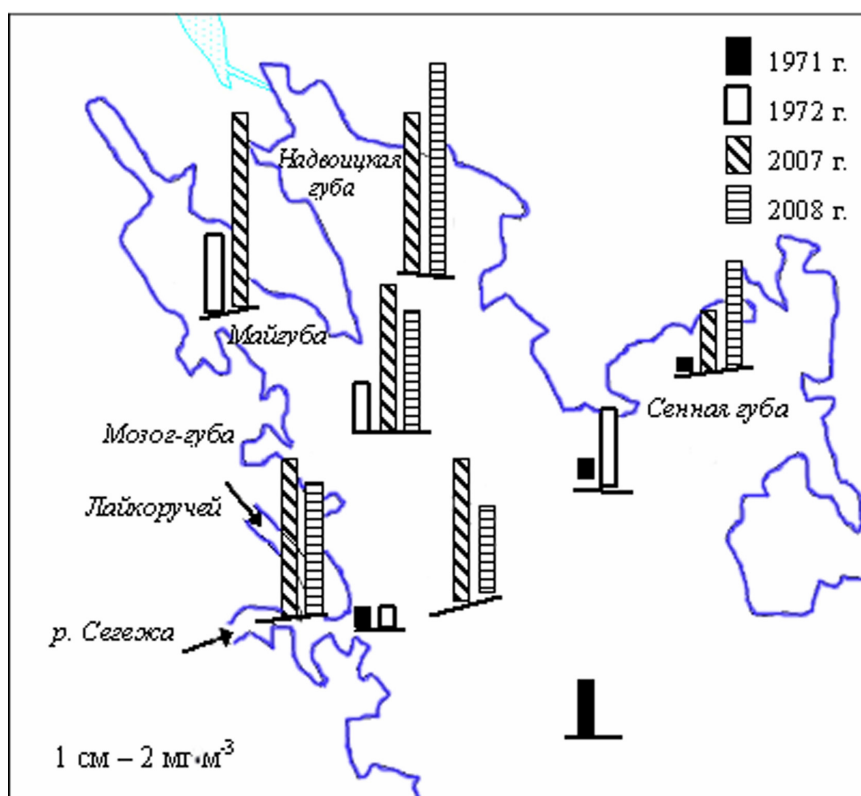


Рис. 2. Среднее в фотическом слое воды содержание хлорофилла «а» в Северном Выгозере в 1971–1972\* и 2007–2008 годах.  
\*– по: Вислянская, Харкевич, 1985

**Первичная продукция (А), концентрация (Chl «а») и ассимиляционная активность (САЧ) хлорофилла «а» в Северном Выгозере в летний период**

Показатель	1971–1972 гг.*	1981 г.*	2007–2008 гг.
А в поверхностном слое воды, мг С·м <sup>-3</sup> ·сутки <sup>-1</sup>	116.5±28.0	366.1	106.1±15.1
А в фотическом слое воды, мг С·м <sup>-2</sup> ·сутки <sup>-1</sup>	204.2±46.3	673.0	191.6±27.1
Chl «а», средне для фотического слоя воды	1.09±0.26	11.4	3.84±0.34
САЧ в поверхностном слое воды	86.3±15.5	32.1	36.4±8.2
САЧ в фотическом слое воды	26.5±5.0	9.8	11.2±2.5

\* – по: Вислянская, Харкевич, 1985

Средние в толще воды скорости разрушения ОВ на акватории Северного Выгозера достигали в этот период пределов от 0.04 до 0.43 мгС·л<sup>-1</sup> (Вислянская, Харкевич, 1985). В расчете на фотический слой первичная продукция на акватории озера составляла лишь 30–40 %, а во всем столбе воды только 10–20% от деструкции ОВ. В водоеме активно разрушалось аллохтонное ОВ как естественного, так и антропогенного происхождения.

Таким образом, в начале 70-х гг. прошлого столетия Северное Выгозеро, как и озеро в целом, представляло собой низкопродуктивную экосистему с резко выраженным отрицательным балансом ОВ. Лишь на ограниченном участке, где в результате активного биохимического разрушения легко-окисляемого ОВ сточных вод имели место повышенные концентрации фосфатов (Харкевич, 1978), продукция фитопланктона достигала в отдельные периоды пределов мезотрофных экосистем.

Станция биологической очистки объединенных промышленных и бытовых сточных вод на Сегежском ЦБК начала функционировать с 1976 г. одновременно с переносом выпуска сточных вод из Лайкоручья в Мозог-губу. В стоках значительно сократилось количество легкоминерализуемых и ядовитых веществ, зато увеличилось содержание биогенных элементов, в частности фосфора, особенно в первые годы (Лозовик, 1985). В последующие годы в воде Северного Выгозера отмечались наиболее высокие концентрации фосфора, превышающие 30 мкг Р<sub>общ.</sub>·л<sup>-1</sup>, а в наиболее загрязненных участках Мозог-губе и Лайкоручье – до 190 мкг Р<sub>общ.</sub>·л<sup>-1</sup> (Лозовик и др., 1989). Следствием снятия токсического эффекта и биогенной стимуляции стало резкое усиление первично-продукционных процессов (табл. 1), повлекшее за собой значительное увеличение биомассы водорослей. Продукция фитопланктона в Северном Выгозере летом 1981 г. уже достигала в среднем 637 мг С·м<sup>-2</sup>·сут.<sup>-1</sup>, в 3.5 раза превысив уровень 1971–1972 гг. (Вислянская, Харкевич, 1985). Концентрация хлорофилла «а» в фотическом слое возросла в этот период до 11.0 мг·м<sup>-3</sup>, его ассимиляционная активность снизилась в среднем в 2.4 раза. Кроме того, в фитопланктонном сообществе, помимо роста биомассы, начались структурные изменения, связанные увеличением доли высокопродуктивных зеленых и сине-зеленых водорослей (Вислянская, Харкевич, 1985; Лозовик и др., 1989).

Вследствие снижения содержания в сточных водах легкоминерализуемой фракции ОВ почти в 3 раза уменьшились величины деструкции в районе их сброса, а в целом на акватории – в среднем на 35 %. Тем не менее, в экосистеме поддерживался отрицательный баланс ОВ (Тимакова, 1985). Лишь в районе выпуска сточных вод первичная продукция превышала деструкцию в столбе воды приблизительно в 1.5 раза, то есть происходило накопление ОВ.

Начало 1990-х гг. характеризовалось значительным спадом производства Сегежского ЦБК и, соответственно, уменьшением объемов сточных вод. К настоящему времени годовое поступление в водоем общего фосфора со стоками ЦБК сократилось в 9 раз по сравнению с 80-ми годами (данные И.А. Литвиновой), а концентрация этого биогена в воде Северного Выгозера сократилась в среднем до 12 мкг·л<sup>-1</sup> (данные д.х.н. П.А. Лозовика).

На фоне существенного сокращения фосфорной нагрузки понизилась продукционная активность фитопланктона Северного Выгозера. Первичная продукция летом 2007–2008 гг. в слое максимального фотосинтеза не уже превышала пределов 60.4–152.3 мг С·м<sup>-3</sup>·сут., в фотическом слое воды – 110.4–278.2 мг С·м<sup>-2</sup>·сут., что соответствует олиготрофному уровню 1971–1972 гг. и в 3.5 раза ниже ее величин в период максимальной фосфорной нагрузки (табл. 1, рис. 1). Среднее содержание хлорофилла «а» в фотическом слое воды достигает в настоящее время 1.6–5.5 мг·м<sup>-3</sup>, что в 3 раза ниже, чем в 1981 году. Тем не менее, концентрации хлорофилла остаются в 3 раза выше олиготрофного периода 1971–1972 годов (табл. 1, рис. 2). Ассимиляционная активность хлорофилла, – 22.8–76.0 мг С·мг<sup>-1</sup>, сравнима с САЧ, полученными в 1981 году (табл. 1). Максимальные для Северного

Выгозера величины хлорофилла и первичной продукции в настоящее время регистрируются в бывшем приемнике сточных вод ЦБК Лайкоручье, в районе современного выпуска стоков Лейгубы и по ходу распространения загрязненных вод (Майгуба, Надвоицкий залив).

В целом, произошедшее снижение продуцирования органического вещества фитопланктоном до уровня начала 1970-х гг. соответствует сокращению его биомассы (Чекрыжева, Вислянская, 2007). Однако повышение содержания хлорофилла в фитопланктоне по сравнению с началом 1970-х гг. на фоне биомассы и продукции, не превышающих уровень этих лет, может быть отражением произошедших серьезных изменений в структуре фитоценозов. Хотя в литературе нет единого мнения о зависимости содержания хлорофилла в клетках водорослей от их видового состава (Трифонов, 1990; Елизарова, 1993 и др.), тем не менее, увеличение содержания хлорофилла в биомассе фитопланктона Северного Выгозера произошло с уменьшением доли диатомовых в сообществе. Так, в начале 1970-х гг. фитопланктон всего водоема на 90–96% был представлен диатомовым комплексом (Вислянская, 1978), а в настоящее время численность в биоценозах Северного Выгозера синезеленых и хлорококковых водорослей превышает 30% (Чекрыжева, Вислянская, 2007).

Значительное снижение объемов поступающих в водоем сточных вод ЦБК в результате спада производства повлекло за собой и дальнейшее снижение напряженности деструкционных процессов в Северном Выгозере. Так, скорости деструкции ОВ здесь в настоящее время не превышают  $0.007\text{--}0.10 \text{ мг С}\cdot\text{л}^{-1}\cdot\text{сут.}$ , что не только в 5 раз меньше, чем в 1970-е гг. (Вислянская, Харкевич, 1985), но и в 3 раза ниже, чем в 1981 году, когда из сточных вод стало изыматься легкоминерализуемое ОВ (Тимакова, 1985). В участках наибольшего загрязнения (Лейгуба и Лайкоручей) это сокращение достигает 6 и 2 раз соответственно.

Ослабление деструкционной активности повлекло изменения в биотическом балансе. Если в начале 1970-х гг. в фотическом слое соотношение продукционно-деструкционных процессов составляло 0.3–0.4, то сейчас они оказываются относительно уравновешенными со средним их соотношением 1.1. В расчете на столб воды продукция достигает в среднем 60% от деструкции ОВ.

### Заключение

Таким образом, развитие первично-продукционных процессов в экосистеме Северного Выгозера было сопряжено с изменением биогенной нагрузки сточных вод Сегежского ЦБК. Через 15 лет после начала существенного снижения поступления в водоем промышленных вод и фосфора в их составе в результате спада производства на ЦБК активность автотрофного звена экосистемы снизилось до уровня развития начала 1970-х годов. Это стало возможным из-за большой проточности озера (период условного водообмена 0.63 года), благодаря чему при условии постоянного снижения на водоем антропогенной нагрузки довольно быстро, менее чем за год, в воде может устанавливаться новая, более низкая концентрация фосфора. Кроме того, в водоеме мала вероятность выхода фосфора из донных отложений (за исключением Лайкоручья и Мозог-губы), то есть угрозы вторичного эвтрофирования, что было экспериментально установлено П.А. Лозовиком (Лозовик, 1985; Лозовик и др., 1989). Однако, более высокое, чем в 1970-е гг., содержание хлорофилла «а» в планктоне свидетельствует о повышении продукционного потенциала экосистемы на современном этапе развития, то есть о возможности быстрого перехода ее на более высокий трофический уровень при благоприятных условиях.

### Литература

- Булъон В.В. 1983. Первичная продукция планктона внутренних водоемов. Л.: Наука. 150 с.
- Винберг Г.Г. 1960. Первичная продукция водоемов. Минск: Из-во АН БССР. 328 с.
- Вислянская И.Г., Харкевич Н.С. 1985. Фитопланктон и первичная продукция Выгозерского водохранилища // Органическое вещество и биогенные элементы в водах Карелии / Ред. Е.П. Васильева, П.А. Лозовик. Петрозаводск: КФ АН СССР. С. 144–165.
- Елизарова В.А. 1993. Хлорофилл как показатель биомассы фитопланктона // Методические вопросы изучения первичной продукции планктона внутренних водоемов / Ред. И.Л. Пырина. С.-Пб.: Гидрометеиздат. С.126–130.
- Китаев С.П., 1984. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. М.: Наука, 208 с.
- Лозовик П.А. 1985. Взаимодействие донных отложений Северного Выгозера с водой // Органическое вещество и биогенные элементы в водах Карелии. Петрозаводск: КФ АН СССР / Ред. Е.П. Васильева, П.А. Лозовик. С. 61–74.
- Лозовик П.А., Пальшин Н.И., Куликова Т.П., Тимакова Т.М., Вислянская И.Г., Чекрыжева Т.А. 1989. Изменение режима Северного Выгозера и реки Нижний Выг под действием сточных вод Сегежского ЦБК и допустимый объем их сброса. Практические рекомендации. Петрозаводск: КФ АН СССР. 36 с.

- Тимакова Т.М. 1985. Экология целлюлозоразрушающих бактерий // Органическое вещество и биогенные элементы в водах Карелии / Ред. Е.П. Васильева, П.А. Лозовик. Петрозаводск: КФ АН СССР. С. 128–143.
- Трифонов И.С., 1990. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Л.: Наука. 184 с.
- Харкевич Н.С., 1978. Характеристика химического состава и качества воды Выгозерского водохранилища // Водные ресурсы Карелии и их использование / Ред. Н.С. Харкевич. Петрозаводск: КФ АН СССР. С. 107–150.
- Чекрыжева Т.А., Вислянская И.Г. Фитопланктон // Состояние водных объектов Республики Карелия. Гл. 5. Северное Выгозеро и озеро Воицкое / Гл. ред. П.А. Лозовик. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН. 2007. С. 147–151.
- Scor-UNESCO, Working group 17. 1966. Determination of photosynthetic pigments in seawater. Paris. 69 p.

## PRIMARY PRODUCTION CHARACTERISTICS OF THE LAKE VYGOZERO (KARELIA, RUSSIA) DEPENDING ON ANTHROPOGENIC LOAD CHANGE

**E.V. Tekanova, Y.L. Slastina**

Northern Water Problem Institute of Karelian Research Centre, Russian Academy of Science,  
Petrozavodsk, Russia, e-mail: etekanova@mail.ru

Long-term changes of the primary production indexes (primary production, concentration of chlorophyll «a», daily assimilation numbers) in the north part of lake Vygozero influenced by the sewage of pulp-and-paper mill are analyzed. It is shown, that the lake was appear low-production ecosystem (mean primary production of 200 mg C·m<sup>-2</sup>·day<sup>-1</sup>, concentration of chlorophyll «a» 1.1 mg·m<sup>-3</sup>, its daily assimilation number of 86 mg C·mg Chl) in 1970th. In 1980th primary production and of chlorophyll «a» concentration have considerably increased, daily assimilation numbers have decreased by reason of structural changes in a phytoplankton. Present primary production level is comparable about 1970th, daily assimilation numbers are remained at level of 1980th (mean 36 mg C·mg Chl). It is discussed, that changes of primary productivity are depended on quantity and composition variations of the sewage, transformation phytoplankton communities, high degree of the lake water exchange.

## НЕРВНО-МЫШЕЧНАЯ СИСТЕМА ТРЕМАТОДЫ *GYMNOPHALLUS DELICIOSUS* (GYMNOPHALLIDAE)

**Н.Б. Теренина<sup>1</sup>, О.С. Осипова<sup>1</sup>, В.В. Куклин<sup>2</sup>, М.М. Куклина<sup>2</sup>, О.О. Толстенков<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Центр паразитологии Учреждения Российской академии наук Института проблем экологии и эволюции им. А.Н.Северцова РАН, г. Москва, Россия, e-mail: otolo@mail.ru

<sup>2</sup> Учреждение Российской академии наук Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра РАН, г. Мурманск, Россия

Нейромедиаторы – серотонин и нейропептиды обнаружены в нервной системе паразитических плоских червей и, в частности, трематод (Halton, Maule, 2004). Предполагается, что эти вещества участвуют в регуляции мышечной активности стенки тела, прикрепительных органов, репродуктивной системы гельминтов. С целью дальнейшего исследования наличия и функционального значения нейромедиаторов у различных представителей трематод, относящихся к различным таксономическим группам, в настоящей работе исследовали наличие и локализацию нейромедиаторов серотонина и нейропептида FMRFамида в нервной системе представителя семейства *Gymnophallidae* – *Gymnophallus deliciosus* (Olsson, 1893) Odhner, 1900) – паразита жёлчного пузыря чайки.

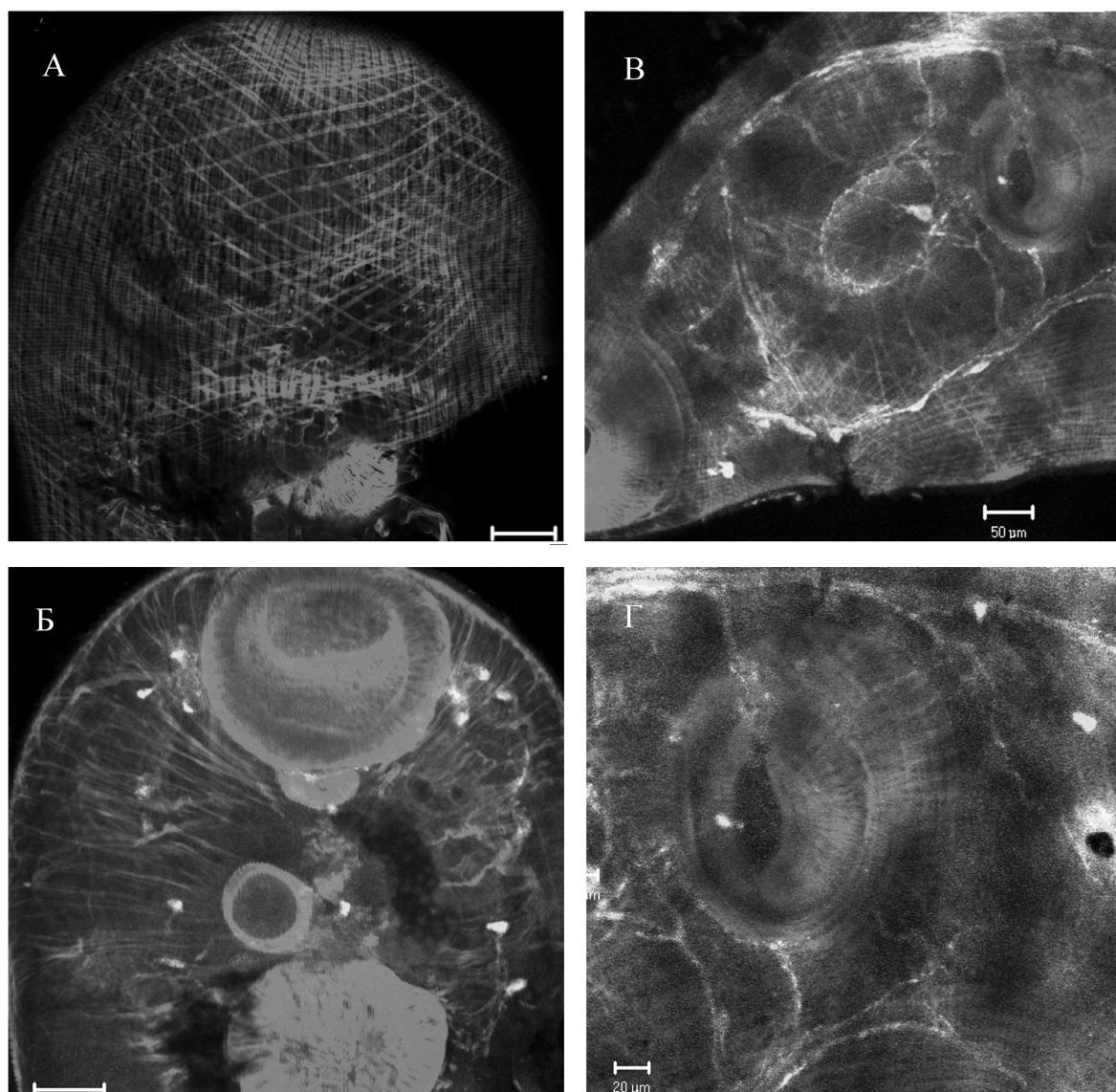
### Материалы и методы

Гельминтов *Gymnophallus deliciosus* извлекали из желчного пузыря серебристой чайки *Larus argentatus* (район Баренцева моря). Материал фиксировали в 4% параформальдегиде в 0,1 М фосфатном буферном растворе (рН 7,4) при 4 °С и затем сохраняли в 10% сахарозе, приготовленной на 0,1 М фосфатном буфере. Локализацию серотонинергических и пептидергических (FMRFамидергических) компонентов определяли иммуноцитохимически в соответствии с методом Coons et al. (1955). Образцы инкубировали в первичной антисыворотке (Incstar, USA, в разведении 1:500) при температуре +4°C; затем во вторичной антисыворотке (FITC, DAKO, в разведении 1:50). Для исследования взаимоотношения выявляемых нейромедиаторов с мышечными элементами одновременно

проводили также окраску мышечных волокон, используя связанный с флуорофором фаллоидин. Окраску мускулатуры проводили тетраметилродамин изотиоцианат (TRITC) меченым фаллоидином (в разведении 1:200) в соответствии с методом, описанным Wahlberg (1998). Препараты исследовались с помощью Leica TCS 4D конфокального сканирующего лазерного микроскопа, соединенного с Leitz Aristoplan флуоресцентным микроскопом.

### Результаты и обсуждение

Размер тела трематод *G. deliciosus* составляет 700 x 450 мкм, ротовой присоски – 170 x 150 мкм, брюшной присоски – 150 x 120 мкм. Окрашивание мышечных волокон с помощью фаллоидина показывает наличие хорошо развитой мускулатуры стенки тела, состоящей из кольцевых, более толстых продольных, а также диагонально направленных мышечных волокон (Рис.1А). Расстояние между кольцевыми мышечными волокнами менее 1 мкм, между продольными – 3–5 мкм, между диагональными – до 20 мкм. Отмечена хорошо выраженная радиальная мускулатура ротовой и брюшной присосок, глотки (Рис.1 Б,В).



*Gymnophallus deliciosus*: Масштаб: А, Б, В – 50 мкм, Г – 20 мкм.

А. Окраска мышечных волокон стенки тела.

Б. Иммунореактивные к серотонину нервные клетки и волокна (стрелки) в передней части тела.

В. FMRFамид иммунореактивные нервные клетки и волокна (стрелки).

Г. Иммунореактивные к FMRFамиду нервные клетки и волокна в области брюшной присоски (стрелки).

Серотонинергические нервные клетки (размером 5–10 х 10 мкм) и волокна выявлены в центральной нервной системе в области расположения головных ганглиев (по 3–4 клетки в каждом ганглии), в центральной комиссуре, соединяющей ганглии, вблизи глотки, в главных продольных нервных стволах (Рис.1Б). От продольных нервных стволов видны идущие к брюшной присоске и половому отверстию нервные волокна. Рядом с репродуктивным отверстием обнаружена иммунореактивная к серотонину нервная клетка. Сеть из серотонинергических нервных волокон видна вблизи репродуктивного отверстия и брюшной присоски. В задней половине тела за брюшной присоской серотонинергических нервных клеток не выявлено.

Иммунореактивность к нейропептиду FMRFамиду обнаружена в области головных ганглиев, центральной комиссуры, связывающей их, в продольных нервных стволах и поперечных комиссурах между ними (Рис.1 В). Положительная окраска наблюдается также в волокнах, идущих к ротовой присоске, а также в нервных клетках, расположенных по ходу главного нервного ствола. Иммунореактивность к FMRFамиду обнаружена в нервной клетке, расположенной вблизи репродуктивного отверстия. Волокна, идущие от продольных нервных стволов, простираются к репродуктивной поре и брюшной присоске и (Рис.1 Г).

### Выводы

Полученные результаты показали, что стенка тела исследуемых трематод *Gymnophallus deliciosus* представлена хорошо развитой мускулатурой, состоящей из кольцевых, продольных и диагональных мышечных волокон, что соответствует данным, полученным в отношении других представителей трематод (Толстенков и др., 2007; Halton, Maule, 2004; Sebelova et al., 2004; Steward et al., 2003; Terenina et al., 2003). Самыми тонкими и более плотно расположенными являются наружные кольцевые мышечные волокна, продольные мышцы – несколько толще и расстояние между ними больше, чем между кольцевыми. Более редко расположенными являются диагональные волокна. Анализ данных, полученных нами в отношении ряда трематод, предполагает, что существуют некоторые различия в размере мышечных волокон и их количестве на единицу площади у различных представителей трематод.

Полученные нами данные показали, что в центральной и периферической нервной системе исследованных трематод содержатся серотонинергические и FMRFаминергические элементы. В целом, полученные данные о наличии в нервной системе исследованных трематод серотонина и нейропептида FMRFамида согласуются с литературными сведениями по этому вопросу, имеющимися в отношении других представителей трематод – (Толстенков и др., 2007; Шишов, 1991; Halton, Maule, 2004; McKay D.M., 1990; Sebelova et al, 2004 и др.). Различия в наличии исследуемых нейромедиаторов касаются некоторых деталей, относящихся, например, к числу нервных клеток и их расположению у того или иного вида.

*Исследование было поддержано грантом РФФИ № 08-04-00271а.*

### Литература

- Толстенков О.О., Теренина Н.Б., Шалаева Н.М., Гайворонская Т.В., 2007. Нейромышечная система трематод *Allocreadium isoporum* и *Paramphistomum cervi*. // Зоол. бесп. Т. 4, № 2. С.139–149.
- Шишов Б.А., 1991. Аминергические и холинергические элементы в нервной системе гельминтов // Труды зоол. ин-та. Т. 241. С. 112–137.
- Coons A.H., Leduc E.H., Connolly J.M., 1955. Studies of antibody production. A method for the histochemical demonstration of specific antibody and its application to a study for the hyperimmune rabbit // J. Exper. Med. V. 102. P.49–60.
- Halton D.W., Maule A.G., 2003. Flatworm nerve-muscle: structural and functional analysis // Can. J. Zool. V. 82. P.316–333.
- McKay D.M., Halton D.W., Johnston C.F., Fairweather J, Shaw C., 1990. Occurrence and distribution of putative neurotransmitters in the frog-lung parasite *Haplometra cylindracea* (Trematoda: Digenea) // Parasitol. Res. V. 76. № 6. P.509–517.
- Terenina N.B., Tolstenkov O.O., Fagerholm H.-P., Serbina E.A., Vodjanitskaja S.N., Gustafsson M.K.S., 2006. The spacial relationship between the musculature and the NADPH-diaphorase activity of 5-HT and FMRF amide immunoreactivities in redia, cercaria and adult of *Echinoparyphium aconiatum* (Digenea) // Tissue and Cell. V. 38. P. 151–157.

Tolstenkov O.O, Terenina N., Gustafsson M., Serbina E., Kreshchenko N., Maklakova L., Jashina A., 2008. Serotonergic and FMRFergic elements in the nervous system of cercaria from different taxonomic group. Preliminary study // *Acta Biologica Hungarica*. 59 (Suppl.). P.221–225.

Sebelova S., Stewart M., Mousley A., Fried B., Marks N.J., Halton D.W., 2004. The musculature and associated innervation of adult and intramolluscan stages of *Echinostoma caproni* (Trematoda) visualized by confocal microscopy // *Parasitol. Res.* V.93. P.196–206.

Steward M.T., Marks N.J., Halton D.W. 2003. Neuroactive substances and associated major muscle systems in *Bucephaloides gracilescens* (Trematoda: Digenea) metacercaria and adult // *Parasitology Research*, 413–424.

Wahlberg M.H. 1998. The distribution of F-actin during the development of *Diphyllbothrium dendriticum* (Cestoda) // *Cell and Tissue Research*. V. 291. P.561–570.

## **NEUROMUSCULAR SYSTEM OF *GYMNOPHALLUS DELICIOSUS* (TREMATODA, GYMNOPHALLIDAE)**

**N.B. Terenina<sup>1</sup>, O.S. Osipova<sup>1</sup>, V.V. Kuklin<sup>2</sup>, M.M. Kuklina<sup>2</sup>, O.O. Tolstenkov<sup>1</sup>**  
e-mail: otolo@mail.ru

Using an immunocytochemical method with confocal scanning laser microscopy, whole-mount preparations of trematode, *Gymnophallus deliciosus* (Gymnophallidae), was studied for serotonin (5-HT) and neuropeptide (FMRFamide) immunoreactivities. 5-HT and FMRFamide–immunoreactive nerve cells and fibers occurred in the central and peripheral nervous system of all investigated trematodes. The 5-HT and FMRFamide staining has been detected in nerve fibres close to all types of musculature implicating 5-HT and FMRFamide in neuronal control of the muscle of body wall, reproductive and attachment organs.

## **ЗООПЛАНКТОН ГУБЫ ЛАХТА ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА**

**М.В. Тимакова**

Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск, Россия  
e-mail: merytim1@rambler.ru

Изменение озерных экосистем под влиянием антропогенных факторов в последнее время превратились в глобальную проблему. Это угрожает не только увеличением дефицита пресной воды на Земном Шаре, но и нарушением функционирования озерных систем. В настоящее время антропогенному воздействию подвержено 90% всех озер мира. Эти же проблемы характерны и для озер Республики Карелия, где более половины водоемов (54,6%) имеют неудовлетворительное качество вод по санитарно-химическим показателям (Филатов, 1999).

Онежское озеро – уникальный во многих отношениях водоем. Являясь одним из крупнейших в Европе, оно до сих пор сохранило олиготрофный характер вод. Продолжающийся сброс в озеро промышленных, сельскохозяйственных и коммунально-бытовых стоков нарушает естественный баланс элементов и ведет к эвтрофированию. Происходящие изменения требуют организации контроля за состоянием водной среды и населяющих ее гидробионтов, что, в свою очередь, приводит к необходимости определения естественных фоновых характеристик биоты и ее динамики.

Несмотря на многолетние исследования, функционирование экосистемы Онежского озера изучено недостаточно полно. Определенную сложность в описании живых систем представляет их постоянная динамика: суточная, сезонная, межгодовая и вековая. Для того, чтобы можно было дать достоверную оценку состояния исследуемой экосистемы, необходимо разобраться в природе ее изменчивости и степени ее проявления. Кроме того, нельзя забывать об активной динамике вод озера, которая также вносит свой вклад и во временную, и в пространственную неоднородность биоты и окружающей ее среды. Жизнедеятельность сообществ в озерах в значительной мере зависит от динамического и термического режимов, определяющую сезонную цикличность и межгодовую изменчивость. Климатические факторы, в свою очередь, имеют естественные долгопериодные и короткопериодные колебания, на фоне которых выявление влияния человека на природу затруднено в связи с недостатком сопоставимых многолетних данных.



Сообщество зоопланктона является частью большой сложной экосистемы озера. В пелагиали глубоких озер роль животных-планктеров в метаболизме экосистемы и трансформации вещества весьма значительна. Помимо чисто «вещественного и энергетического» участия в функционировании биоты зоопланктон обеспечивает множество регуляторных связей, без которых была бы невозможна самоорганизация и регуляция экосистемы. Зоопланктон тесно связан со всеми остальными звеньями биоты: фито – и бактериопланктоном, бентосом и ихтиофауной. Все изменения в биоте тут же отражаются на параметрах сообществ зоопланктона, которые могут служить показателями состояния всей системы в целом (Куликова, Кустовлянкина, Сярки, 1997)

Данная работа посвящена изучению сообщества ракообразных и коловраток губы Лахта Онежского озера с 2004 по 2008 годы. Целью является исследование его количественных характеристик, структуры и функционирования, сезонной и межгодовой динамики в естественных условиях. Широкая полукруглая губа Лахта расположена на юго-западе Онежского озера. Губа характеризуется крутизной подводного склона, быстрым нарастанием глубин и наличием отдельных глубоких впадин. В гидрохимическом отношении воды губы Лахта относятся к гидрокарбонатно-кальциевому классу, имеют низкую минерализацию (20–70 мг/л), высокую цветность и окисляемость воды (Сабылина, 1999). Материалом для настоящей работы послужили сборы метазойного планктона в период комплексных съемок лаборатории Экологических проблем севера ПетрГУ раз в сезон (зима, весна, лето, осень) на стандартных станциях. 1, 2, 3. Станция 1-литораль (глубина 2 м.), расположена в кутовой части губы Станции 2 и 3 – пелагиаль с глубиной 5 м, расположены соответственно, в центре и на выходе из губы. Зоопланктон собирали малой сетью Джеди (сито № 49) в пелагиали – фракционно по стандартным горизонтам, а на мелководье тотально. Дальнейшая камеральная и числовая обработка выполнялась по общепринятой методике (Киселев, 1969; Лаврентьева, Винберг, 1984). Сапробность вод рассчитывалась по методу Пантле и Букка с использованием рекомендаций А.В.Макушина и Т.П.Куликовой (1974, 1983).

За период исследования в составе зоопланктона губы Лахта Онежского озера был обнаружен 81 вид коловраток и ракообразных, в том числе коловраток – 31, ракообразных – 50 (Cladocera – 37, Calanoida – 4, Cyclopoida – 9). Из коловраток в состав руководящих *Conochilus unicornis*, *Gastropus stylifer*, *Ascomorpha ecaudis*, *Polyarthra dolichoptera*. Среди ракообразных, наряду с круглогодичными эвритермными видами – *Eudiaptomus gracilis*, *Thermocyclops oithonoides*, *Limnocalanus macrurus*, *Daphnia cristata*, *Bosmina coregoni obtusirostris*, большой численности достигают многие сезонные умеренно-тепловодные виды – *Heterocope appendiculata*, *Mesocyclops leuckarti*, *Paracyclops fimbriatus*, *Daphnia longiremis*, *Leptodora kindtii* и др.

Цикличность биологических процессов в водоеме зависит от ритмичной смены климатических сезонов и может быть объяснена целым комплексом лимнологических факторов среды – абиотическими и биотическими. Последовательность появления или исчезновения форм планктона, сроки размножения, изменения видового и возрастного состава, численности, биомассы, вертикального и горизонтального распределения организмов прямо или косвенно связаны с термическим режимом, трофическими условиями в водоеме и прессом хищников (Андроникова, 1996).

В зимний период, при температуре воды 0,6–1°C, видовой состав зоопланктонного сообщества сильно обеднен и представлен немногими холодноводными и эвритермными видами: *L. macrurus*, *E. gracilis*, *A. priodonta*, *K. longispina*, *A. ecaudis*, *G. stylifer*, *B. coregoni obtusirostris lacustris*. По численности (43–78%) доминировали коловратки, основу биомассы в 2007г создавали веслоногие ракообразные – 40–87%. Наименьшие показатели численности отмечены на ст.1 (7,0 тыс. экз./м³) и на ст. 2. (15,0 тыс. экз./м³). На ст. 3, которая ближе всех находится к Центральному Онегу, доля *Calanoida* в создании общей численности и биомассы зоопланктона возрастает соответственно до 14 и 50% (рис.1,2).

Обычно весеннее развитие планктона начинается в прибрежной зоне с момента формирования фронта термобара и продвигается вслед за последним к центру водоема с запаздыванием примерно на месяц. В это время метазойный планктон немногочислен и представлен науплиями и младшими возрастными стадиями копепоид, которые составили более половины (44–79%) общей численности ракообразных. Весной возрастает видовое разнообразие, появляются весенние и летние виды коловраток и ракообразных: *P. fimbriatus*, *D. brachyurum*, *D. longiremis*, *A. affinis*, *Ch. sphaericus*, *S. oblonga*, *K. cochlearis*, *B. longirostris*, *B. obtusirostris*. Во всех биотопах губы Лахта по численности (20–72%) и биомассе (84–96%) доминировали копепоиды. Общая численность зоо-

планктеров в зарослевой литорали (ст. 1), при прогреве воды до 7,3°C, увеличивается до 77,0 тыс. экз. / м<sup>3</sup> при биомассе 1,010 г/м<sup>3</sup>. Во всех районах губы Лахта наблюдалось увеличение доли кладоцера в создании общей численности и биомассы. Биомасса создавалась ракообразными (80–95%) при равных соотношениях кладоцер и копепод. Основная масса организмов концентрировалась в поверхностном двух метровом слое, где наиболее благоприятны не только температурные но и трофические условия для их обитания, что обеспечивает быстрый рост и созревание планктеров.

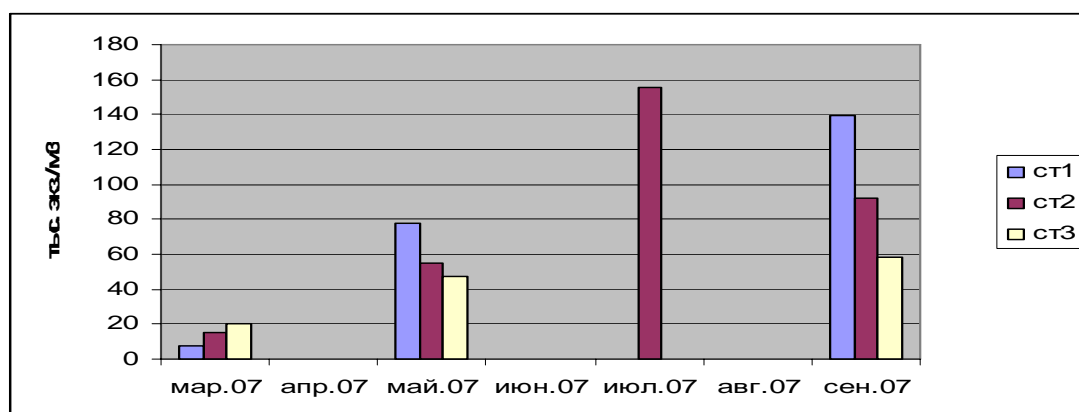


Рис. 1. Сезонная динамика численности зоопланктона губы Лахта Онежского озера в 2007 году

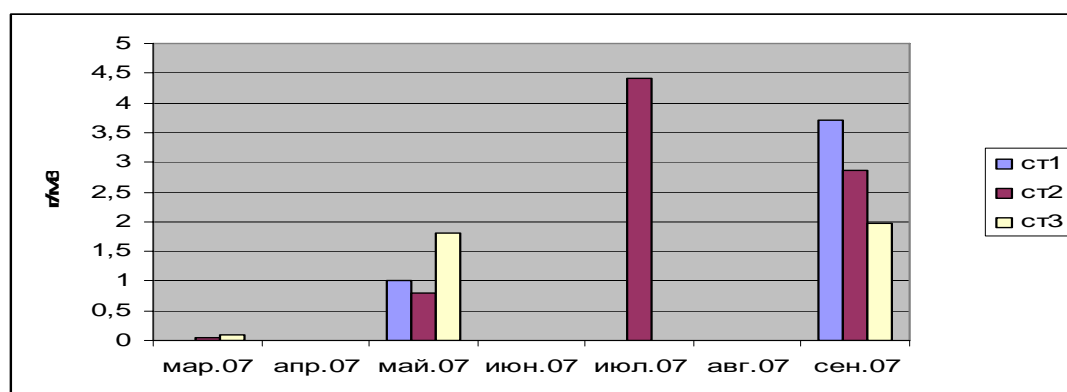


Рис. 2. Сезонная динамика биомассы зоопланктона губы Лахта Онежского озера в 2007 году

В летний период, при прогреве воды до 14,6°C, наблюдалось наибольшее видовое разнообразие и самые высокие показатели обилия зоопланктонного сообщества (рис.1,2). На ст. 2, в создании общей численности и биомассы все группы имели равное значение. Подавляющая масса планктеров равномерно распределялась по всей толще воды, т. к. воды губы прогрелись до дна. Наибольший вклад в создание общей биомассы приходился на *H. appendiculata* (10 %) и *A. herriki* (10,5 %), *B. c. o. obtusirostris* (9,4%), *E. gracilis* (6,1), а так же представителей семейства хидорид.

Осенью, при понижении температуры воды до 12°C и с наступлением гомотермии происходит обеднение зоопланктона. Понижается видовое разнообразие. Сократились количественные показатели обилия (рис. 4–5). На ст. 2 и 3 по численности и биомассе доминировали копеподы: *H. appendiculata*, *E. gracilis*, *M. oithonoides* (26–55%), на ст.1-ветвистоусые рачки (78 %). Доля ветвистоусых рачков, представленных эфипиальными самками и самцами босмин и дафний, колебалась от 12 до 17% всего зоопланктона.

В ходе сезонного развития сообщества в целом наблюдался один пик (июль), как в 2007, так и в 2008 году. Характерно совпадение по времени пиков численности и биомассы. 2008 год по сравнению с 2007 характеризовался меньшими показателями численности и биомассы зоопланктона в весенний период, что связано с холодной затяжной весной 2008 года, отрицательно сказавшейся на развитии тепловодного комплекса.

Распределение зоопланктона в толще воды в течение года непостоянно и зависит от температурных и трофических условий в водоеме. В зимний период зоопланктон концентрируется в верхнем двух метровом слое (табл.1). В зарослевой литорвли по численности доминировали коловратки (76%), а биомасса создавалась *Bosmina longirostris* (13,4%), *Daphnia cristata* (64,5%) и *Cyclops strenuous* (28%). В пелагиали в создании биомассы большое значение принадлежало *Eudiaptomus gracilis* (49%) и *Limnocalanus macrurus* (23%). Весной в 2007 году основная масса организмов концентрировалась в поверхностном двух метровом слое, а в 2008 году численность планктеров по вертикали разнилась незначительно (табл. 1). Максимального развития в верхнем двух метровом слое, как и в нижележащем достигают коловратки и копеподы. Летом, в период выраженной температурной стратификации водных масс, подавляющая масса планктеров концентрировалась в верхней части эпилимниона, где их численность была в 2–3 раза выше, чем в нижележащем слое. Летом в верхнем двух метровом слое на долю ветвистоусых рачков приходится 24% общей численности и 21% биомассы сообщества.

Таблица 1

Вертикальное распределение зоопланктона в губе Лахта в 2007 году  
(N-численность тыс. экз. / м<sup>3</sup>, B-биомасса г/м<sup>3</sup>)

Дата	0–2		2–5	
	N	B	N	B
25.03	12,0	0,122	16,6	0,023
14.05	106,0	1,148	56,4	0,867
17.07	211,1	6,910	184,5	7,902
18.09	109,0	3,217	78,3	1,924

Осенью основная масса планктеров концентрировалась в поверхностном двух метровом слое (до 50%)

Анализ, полученных нами данных, позволяет заключить, что планктонный комплекс сохранил свой видовой состав на протяжении всего периода исследования и не отличается от приводимого ранее Т.С. Смирновой.(1975) для литоральной зоны Онежского озера.

Общий характер сезонных изменений зоопланктона в губе Лахта сходен в различные годы. Средняя биомасса зоопланктона, вычисленная по трем станциям, изменялась аналогично во все годы исследований (рис.3). Максимальное развитие планктона наблюдалось во все годы летом, в июле и составляла в разные годы от 1,3 до 7,2 г/м<sup>3</sup>.

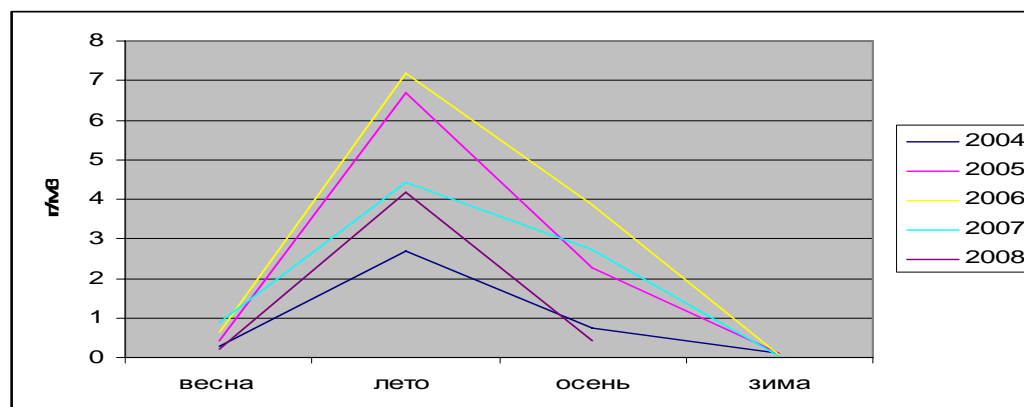


Рис. 3.Сезонные изменения биомассы зоопланктона губы Лахта Онежского озера  
(среднее по станциям 1, 2, 3) в 2004–2008 гг.

В 2008 году по сравнению с 2007 наблюдались меньшие показатели обилия зоопланктона в весенний период, что связано с холодной затяжной весной 2008 года, отрицательно сказавшейся на развитии тепловодного комплекса (рис.3).

В 2006 году максимум численности и биомассы зоопланктона отмечался на всех станциях одновременно. Этот год был особенно богатым по уровню развития зоопланктона. Средняя биомасса

планктона в июле 2006 года равнялась 7,2 г/м<sup>3</sup>. Уровень развития зоопланктона в 2005 году был несколько ниже (6,7 г/м<sup>3</sup>). Значения биомасс в июле 2007 и 2008 гг. значительно уступали таковым в 2005–2006 гг. и составляли соответственно 4,4 и 4,2 г/м<sup>3</sup>. Самые низкие цифры биомасс отмечены в 2004 году (1,3 г/м<sup>3</sup>).

В осенний период отличия между годами больше, чем летом, биомасса колебалась от 0,4 до 3,8 г/м<sup>3</sup>. Осеннего увеличения биомассы зоопланктона не наблюдалось.

Средние данные по трем станциям отражают различия в уровне развития зоопланктона губы Лахта Онежского озера. Распределение и уровень развития зоопланктона на отдельных станциях и в среднем летом 2005–2008 гг. также подтверждают бедность зоопланктона в 2004 г. и более высокие его показатели в 2005 г. и в особенности в 2006 г.

В определении уровня развития зоопланктона в разные годы большую роль играет температурный режим, влияющий на интенсивность гидробиологических процессов (Николаев, 1968). Отмечено для разных водоемов, что в годы с более теплыми весной и летом уровень развития зоопланктона выше.

Наши данные подтверждают это положение. Отличия биомассы планктона в 2004–2008 гг. соответствуют средним температурам в Лахтинской губе. Самые низкие температуры отмечались в 2004 г., этот же год был и более бедным по планктону.

Наиболее высоким теплозапасом из этих пяти лет отмечался 2006 г., он же был и самым богатым по уровню развития зоопланктона. 2007, 2008 гг., занимающие промежуточное положение между 2004 и 2006 гг. по теплозапасу, оказались средними и по биомассе зоопланктона. Однако повышение уровня развития зоопланктона наблюдается лишь при увеличении температуры в определенных пределах. При слишком высоких температурах, как это было в 2005 г., не наблюдалось самой высокой биомассы планктона.

В определении уровня развития планктона играет роль не только абсолютное значение теплозапаса. Очень важен также сезонный ход изменения температур воды, т.е. характер распределения тепла в течение вегетационного периода. Весна 2007 г. была очень ранняя и теплая, поэтому в июле этого года численность и биомасса зоопланктона в Лахтинской губе была больше, чем в другие годы. Различия эти видны при сравнении с 2008 г., отличавшимся поздним ледоставом и поздней весной. Раннее прогревание весной 2007 г. способствовало раннему развитию кладоцер и коловраток.

Таким образом, структура сообщества очень динамична, она изменяется в зависимости от термического и динамического режимов текущего и предыдущего годов, от складывающейся в водоеме трофической ситуации, но основные её особенности повторяются из года в год.

Фауна коловраток и ракообразных представлена эврибионтными видами имеющим широкое распространение в умеренной зоне Северного полушария (финноскандинавский) комплекс

Сезонные колебания численности и биомассы носят отчетливо выраженный характер и обусловлены, прежде всего, температурным режимом.

Основная масса зоопланктона образуется в поверхностном двухметровом слое за счет организмов эпи-металимнического комплекса.

Значительное развитие зоопланктона по времени занимает лишь треть годового цикла (июнь–сентябрь)

На уровень развития зоопланктона в межгодовом аспекте оказывают влияние термический и водный режимы

Максимальная численность (104,9 тыс. экз./м<sup>3</sup>) и биомасса (2,784 г/м<sup>3</sup>) отмечены в 2006 году, а минимальные величины (48,3 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 1,230 г/м<sup>3</sup>) в 2004 году.

Трофический статус вод губы Лахта Онежского озера по уровню развития зоопланктона по классификациям С.П.Китаева (1984,2007) и И.В. Андрониловой (1996) соответствует мезотрофным водоемам.

Воды губы по индексу сапробности ( $S=1.7-1.9$ ) можно отнести к классу умеренно загрязненных

## Литература

Андронилова И.Н., 1996. Структурно функциональная организация зоопланктона озерных экосистем.: С. – П.: «Наука», 189

Кауфман З.С., Пирожкова Г.П. 1989 Экосистема Онежского озера и тенденции ее изменения//Водные ресурсы..№4. с.144–150.

Киселев М.А., 1956, Методы исследования планктона // Жизнь пресных вод СССР. Т.14. : М-Л: изд-во АН СССР, с. 183–256.

Киселев И.А. 1980 Планктон морей и континентальных водоемов. Т.2, – Л.: Наука, 1980, – 440 с.

Китаев С.П., 1984, Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон., М.: Наука, 207 с

Китаев С.П., 2007 Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 394 с.

Смирнова Т.С 1975. Зоопланктон литоральной зоны Онежского озера // Литоральная зона Онежского озера. Л.: 'Наука' с. 145–159.

Куликова Т.П. 1983, Рекомендации по определению сапробности с учетом биологических особенностей планктонных организмов Карелии. Петрозаводск Карельский филиал АН СССР. 6с.:

Куликова Т.П., Кустовлянкина Н.Б., Сярки М.Т. 1997 Зоопланктон как компонент экосистемы Онежского озера. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. 111 с.

Николаев И.И. 1972 Исторические и экологические условия формирования зоопланктона Онежского озера // Зоопланктон Онежского озера. Л.: Наука, С. 32–39.

Макрушин А.В. 1974 Биологический анализ качества вод с использованием списка организмов индикаторов загрязнения. Л.: ЗИН АН СССР, ВГБО, С. 1–60. 1–53.

Сабылина А.В. 1999, Современный гидрохимический режим озера // Онежское озеро. Экологические проблемы. Петрозаводск, Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, С. 58 – 108.

Смирнова Т.С 1975. Зоопланктон литоральной зоны Онежского озера // Литоральная зона Онежского озера. Л.: 'Наука' с. 145–159.

Филатов Н.Н. Изменчивость водного баланса и уровня // Экосистема Онежского озера и тенденции ее изменения. Л.: 'Наука' Ленинградское отделение, 1990. С. 29.

## **ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ БАКТЕРИАЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ В ВОДОЕМАХ, ЗАГРЯЗНЯЕМЫХ ОТХОДАМИ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

**Т.М. Тимакова**

Учреждение Российской академии наук Институт водных проблем Севера  
Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия  
e-mail: ttm49@mail.ru

Водные бактерии, обладая высокой регенеративной способностью, быстро реагируют на изменяющиеся условия среды. Они выполняют основную роль в самоочищении водоемов и являются чувствительными индикаторами при поступлении в них загрязнений. При антропогенном вмешательстве естественные бактериальные сообщества, адаптированные к присутствию в воде веществ природного происхождения, претерпевают изменения, которые зависят от природы поступающих загрязнений. Эти изменения в бактериоценозах проявляются, прежде всего, в качественной и количественной перестройке составляющих их видов и выражаются в ускоренном развитии групп бактерий, использующих загрязняющие вещества в качестве метаболического и конструктивного субстрата.

В регионе с развитым лесопромышленным комплексом основными потребителями и загрязнителями водоемов являются сточные воды целлюлозно – бумажных комбинатов (ЦБК). Они относятся к экологически опасным, характеризуются слабым эвтрофирующим эффектом, но, высоким содержанием серы и органических веществ, на минерализацию которых из воды расходуется большое количество кислорода. Поэтому, непреложным требованием для ЦБК является проведение мероприятий по их удалению из сточных вод с целью снижения негативного влияния на водоем.

Трансформация бактериоценозов в водоемах, принимающих сточные воды ЦБК в целом, имеет схожий характер. В данной работе прослежена основная направленность изменений природных бактериальных сообществ за 50-летний период под влиянием сточных вод ЦБК, расположенного на побережье Кондопожской губы Онежского озера.

За исследуемый период на комбинате неоднократно менялись объемы сбрасываемых сточных вод и производственные технологии, что приводило к изменению их состава, особенно содержания в них органического и биогенных веществ. Анализ количественных показателей бактериоценозов и развития наиболее показательных функциональных групп бактерий за последние 50 лет свидетельствует о последовательности их трансформации под влиянием сточных вод ЦБК. Можно выделить

3–4 основных периода, в течение которых бактериальные сообщества существенным образом претерпевали изменения.

Исходное состояние экосистемы залива – олиготрофное, с признаками ультраолиготрофии. Бактериальные сообщества характеризовались низкой численностью бактериальных сообществ –  $0,2\text{--}0,3 \text{ млн.} \cdot \text{мл}^{-1}$ , небольшим содержанием сапрофитных бактерий – до  $200 \text{ КОЕ} \cdot \text{мл}^{-1}$ . Жизнедеятельность бактериопланктона базировалась преимущественно на органическом веществе автохтонного происхождения.

Заметные изменения в бактериоценозах вершинной части залива стали проявляться в 60-х годах. Они выразились в увеличении общей обсемененности воды и, особенно, – сапрофитной группы бактерий. Так, при росте общей численности в 4–5 раз, количество сапрофитных бактерий увеличилось более чем на порядок и достигло максимальных значений –  $8 \text{ тыс. КОЕ} \cdot \text{мл}^{-1}$ . Доминирующее положение в ценозах имели аэробные бактерии.

В 70-х годах последовательный рост мощностей комбината сопровождался увеличением сбрасываемых в водоем неочищенных сточных вод, что привело к перегрузке вершинной части губы органическими соединениями, и к более глубокой перестройке бактериальных ценозов. Вблизи комбината количество бактерий возросло до  $2,0$  и более  $\text{млн. кл.} \cdot \text{мл}^{-1}$  (рис.1). Сапрофитные бактерии на отдельных участках достигали  $30 \text{ тыс.}$  (в среднем  $9 \text{ тыс.}$ )  $\text{КОЕ} \cdot \text{мл}^{-1}$ , что составляло около 4% от общей численности. Санитарный показатель «К» был около 100. Значительное развитие имели грибы и дрожжи, часто встречались зооглейные скопления бактерий типа *Zooglea ramigera*, бактериальные нити типа *Sphaerotilus natans* (Филимонова, 1975). Бактерии-нитрификаторы отсутствовали. Нитрификационный процесс прослеживался лишь на некотором удалении от комбината. Заметное развитие имели аэробные углеводородокисляющие бактерии и колиформные бактерии. *Coli ind.*, на значительной акватории достигал  $2380$  (табл.1). В вершинной части губы стали проявляться признаки антропогенного эвтрофирования, в развитии, которого особая роль принадлежала гетеротрофному звену, так как аллохтонное органическое вещество, включающееся в биотический круговорот, превалировало над автохтонным. На отдельных участках интенсивное развитие имели процессы аммонификации, сульфатредукции, метаногенеза, следствием которых было накопление в воде восстановленных соединений –  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_4$ .

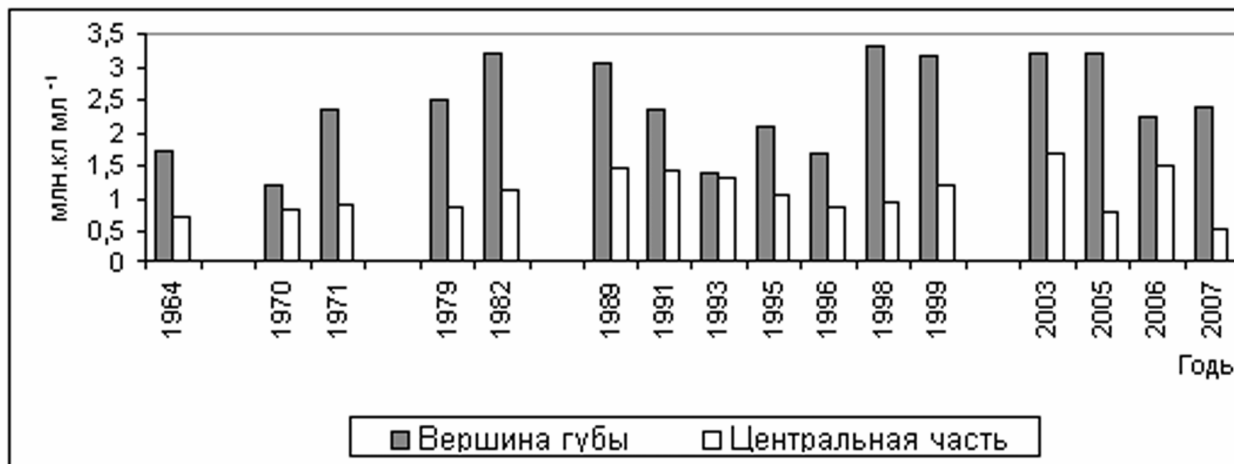


Рис. 1. Многолетняя изменчивость общей численности бактерий в Кондопожской губе. Примечание: 1964 – 1989 гг. – данные Филимоновой Н.А., 1990; 1991 – 2007 – наши данные.

Особо заметные изменения в бактериоценозах произошли в начале 80-х годов после введения станции биологической очистки (СБО). Со сточными водами в залив стало значительно меньше поступать целлюлозно-древесного волокна, биохимически лабильного органического вещества, сернистых соединений. Вместе с тем, функционирование на начальных этапах СБО сопровождалось резким увеличением выноса в водоем фосфора – до  $109 \text{ т}$  в год – (в 5–6 раз) и азота (в 15–30 раз), что привело к насыщению воды фосфором до  $17\text{--}70 \text{ мкг/л}$ , и интенсивному развитию фитопланктона то есть обогащению воды автохтонным органическим веществом. Все эти изменения в экосистеме стали основополагающими, которые привели к заметному снижению в бактериопланктоне доли сапрофитных бактерий. Их численность по сравнению с семидесятыми годами снизилась с

7450±1320 до 2200±980 КОЕ·л<sup>-1</sup>, что имело достоверное подтверждение –  $t = 2,89$  при  $p > 0,05$ . Величины общей численности, наоборот, проявили тенденцию к увеличению, хотя она имела недостоверный характер. Заметно уменьшилось присутствие в сообществах колиформных бактерий (см. рис.1, табл.1). Но, несмотря на все усилия по снижению поступления в водоем целлюлозно-бумажного волокна в первые годы работы СБО, в воде наблюдалось высокое содержание целлюлозоразрушающих бактерий. Их количество достигало 1,0 тыс.кл. · мл<sup>-1</sup>, а в углубленных участках около комбината, возрастала до 0,1 – 1,0 млн. кл · мл<sup>-1</sup>. Доля этих бактерий в структуре бактериоценозов составляла 0,01 – 7,4%. Способность бактериоценозов к разрушению клетчатки около выпуска волоконсодержащих стоков была очень высокой (табл. 2). Ее значения более чем на порядок превышали показатели в центральном районе Онежского озера, и в эвтрофных и олигодистрофных водоемах Карелии (Тимакова, Романенко, 1984).

Таблица 1

**Содержание колиформных бактерий в Кондопожской губе и пелагических районах озера, (КОЕ· л<sup>-1</sup>)**

Район озера		1964–1965 гг (Нестерова, 1971)	70-е г.г. (Филимонова, 1975)	80-е г.г. (Филимонова, 1990)	2006–2007 г.г. (наши данные)
Кондопож- ская губа	В районе города	2380	2380	2380	3545–3580
	Срединная часть	–	2380	< 9–230	100–2490
	Внешняя часть губы	23	250	< 9–23	125–312
Большое Онего		23–230	–	–	25–196
Центральное Онего		176–339	–	–	50–125

Таблица 2

**Целлюлозолитическая способность бактериоценозов  
Кондопожской губы, мкг С · л<sup>-1</sup>·сут<sup>-1</sup>**

Район	Min – max	Среднее
Центральная часть	0,04 – 0,11	0,08±0,03
Около комбината	0,15 – 11,9	3,13±1,87

Функционирование в течение 10 лет СБО (в конце 80-х – начале 90-х годов) привело к ускоренному развитию в водоеме фитопланктона и процесса антропогенного эвтрофирования. Формирование бактериоценозов в этот период происходило в сложных условиях постепенного роста трофии и прессы на экосистему органического вещества, выносимого в составе сточных вод. Общая численность бактерий для акватории в среднем составляла 1,4± 0,6 млн. кл. · мл<sup>-1</sup>. При отсутствии четкого деления на зоны, вся акватория губы, по уровню развития микроорганизмов, была условно разделена на два района – вершинный и центральный, который достоверно отличался от вершинного –  $t=3,63$  для общей численности и  $t=3,3$  для гетеротрофных бактерий при  $p \geq 0,05$ . Выразительным показателем в этот период, характеризующим состояние бактериоценозов, была темновая ассимиляция CO<sub>2</sub> (рис.2). Ее летние величины варьировали на акватории губы в пределах от 0,8 до 10,0 мкг С · л<sup>-1</sup> · сут<sup>-1</sup> (в вершинной части – 10,03, в центральной – 1,87). За счет темновой ассимиляции CO<sub>2</sub> в столбе воды под м<sup>2</sup> ежесуточно фиксировалось 154,1 и 122,6 мг углерода соответственно, что составляло 37,9% и 45,6% от световой за счет фотосинтеза (406,8 и 268,8 мкг С · л<sup>-1</sup> · сут<sup>-1</sup>). В водоемах олиго- и даже мезотрофного типа это соотношение не превышает 10–20% (Романенко, 1985). То есть, несмотря на 10-летний период функционирования СБО и значительное снижение выноса в водоем легкоокисляемого ОВ, гетеротрофное звено продолжало играть весомую роль в развитии антропогенного эвтрофирования.

Так как с момента пуска СБО в залив со сточными водами стало выноситься большое количество азотистых веществ, то это стимулировало развитие в заливе нитрифицирующих бактерий, обеспечивающих процесс литотрофной нитрификации. Их количество в воде достигало от n-10 до n-1000 кл. в 1мл., что на порядок выше по сравнению с открытыми районами озера, где их численность не превышала 10 – 100 кл. · мл<sup>-1</sup>. Интенсивность литотрофной нитрификации в вершинном участке в толще воды достигала средних значений – 9,45 ± 2,9 мг N · л<sup>-1</sup> · сут<sup>-1</sup>, а в центральной части

–  $1,68 \pm 0,6$  (рис.3). В среднем для губы ее величина составляла  $4,23 \text{ мг N} \cdot \text{л}^{-1} \cdot \text{сут}^{-1}$ , что почти в 4 раза превышало значения для открытых районов озера.

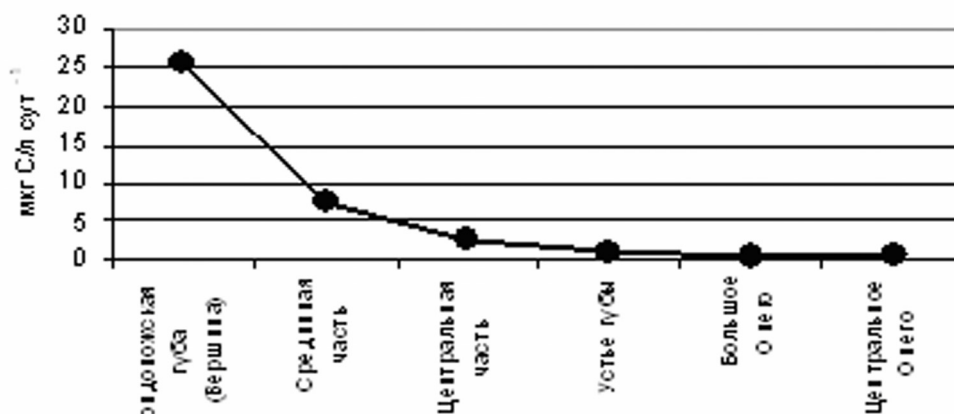


Рис. 2. Распределение темновой ассимиляции  $\text{CO}_2$  в поверхностном слое воды в летний период на акватории Кондопожской губы и пелагических районах озера (среднее за 1989–2006 г.г.)

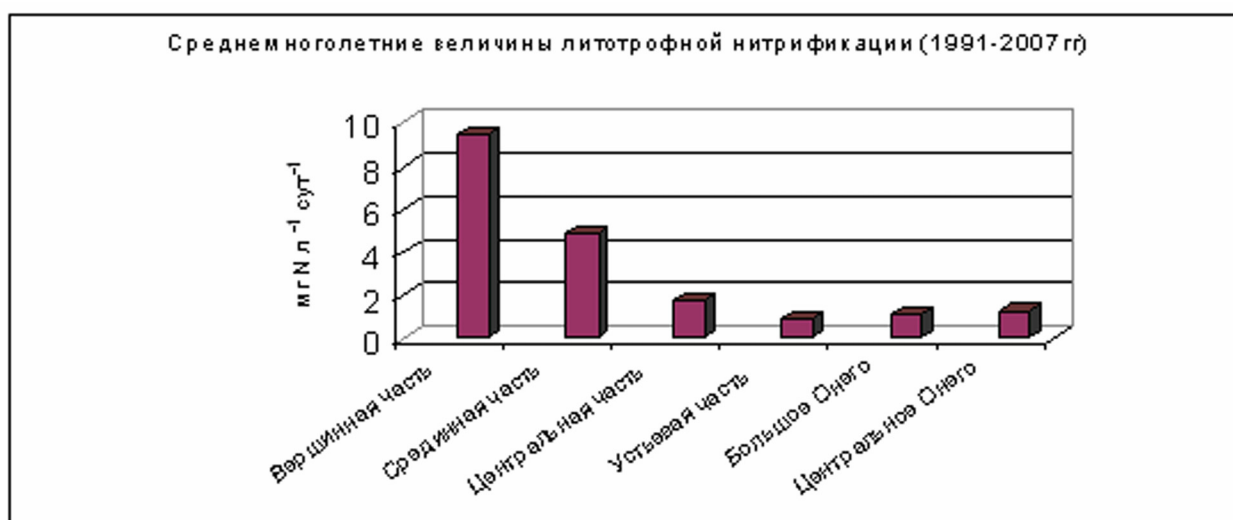


Рис. 3. Распределение среднеелетних величин литотрофной нитрификации на акватории Кондопожской губы и в открытых районах озера.

Начало 90-х годов характеризовалось заметным спадом производства, произошло почти 30%-ное снижение антропогенной нагрузки на водоем по сравнению с 80-ми годами. Это почти сразу отразилось на количественных показателях бактериопланктона. Особенно заметным снижением их величин к 1993 г. выделялся вершинный участок губы, где жизнедеятельность бактерий базируется преимущественно на ОВ, поступающем со сточными водами. Здесь было отмечено достоверное снижение ( $t=3,5$  при  $p \geq 0,05$ ) общей численности – до  $1,4\text{--}2,1 \text{ млн.кл.} \cdot \text{мл}^{-1}$ . Особенно наглядно отреагировал бактериопланктон изменением биосинтетической активности. К середине 90-х гг. выявлено достоверное ( $t=3,6$  при  $p \geq 0,05$ ) снижение величин темновой ассимиляции углекислоты до  $3,0\text{--}6,0 \text{ мкг C} \cdot \text{л}^{-1} \cdot \text{сут.}^{-1}$  (рис 4).

Для Кондопожской губы, характерно значительное превышение деструкции ОВ над первичной продукцией (Теканова, Тимакова, 2006). Суточная бактериальная продукция в вершинной и центральной части губы составляет  $2,5$  и  $2,1 \text{ г C} \cdot \text{м}^{-2}$ , что также сильно превышает первичную продукцию, – в 6–8 раз. Даже если учесть, что расчет бактериальной продукции из темновой ассимиляции  $\text{CO}_2$  дает завышенные результаты раза в 3, бактериальная продукция, тем не менее, будет превышать первичную в 2–3 раза. Это свидетельствует о высоком вкладе бактериального звена в биотический круговорот и сильном влиянии на развитие бактериопланктона ОВ вносимого со сточными водами, несмотря на многолетнее функционирование СБО.



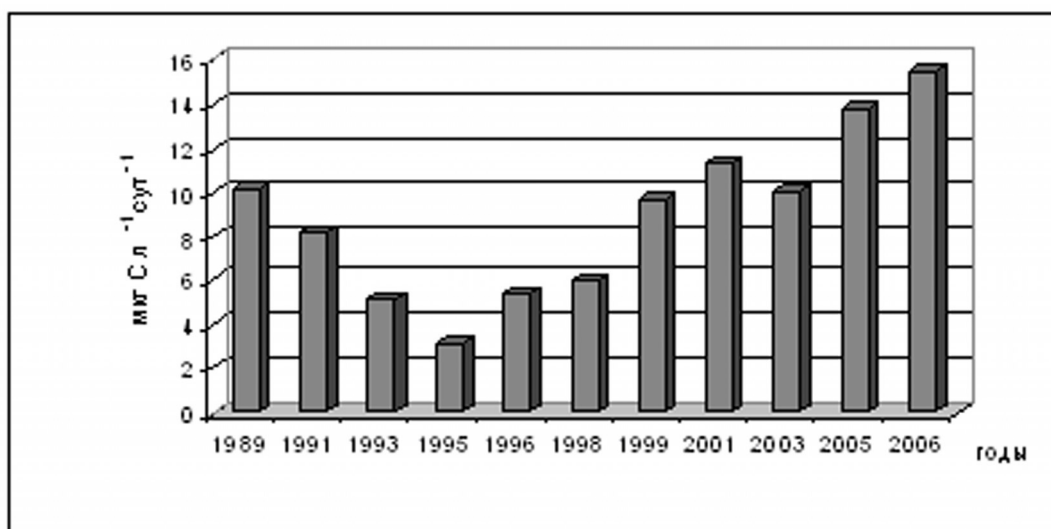


Рис. 4. Изменение летних величин темновой фиксации  $\text{CO}_2$  за период 1989 – 2006 гг в поверхностном слое воды Кондопожской губы

Поступление в Кондопожскую губу со сточными водами органических и минеральных веществ обусловило развитие функциональных групп бактерий, отражающих наличие в воде специфических загрязнителей. Помимо сапрофитных бактерий, которые относятся к общепризнанной индикаторной группе в водной микробиологии, демонстрирующей наличие биохимически нестойкого органического вещества, постоянной составляющей бактериальных сообществ являются микроорганизмы, участвующие в минерализации сложных трудноокисляемых органических соединений. Так количество олигокарбофильных бактерий в 1,5–7 раз превышает численность сапрофитных и достигает 0,02 – 0,5% от общей численности. Высокая плотность этих микроорганизмов до 25 тыс. КОЕ · мл<sup>-1</sup> обнаруживается в районе сброса сточных вод, где отмечается повышенное содержание лигносульфонатов. Меньшую долю в ценозах (0,02 – 0,15%), по сравнению с олигокарбофильными, составляют бактерии, относящиеся к группе актиномицет, которые участвуют в разложении широкого спектра органических веществ, особенно имеющих сложное молекулярное строение. Их численность варьирует в широких пределах, а средние величины на акватории составляют 850 и 2720 КОЕ · мл<sup>-1</sup>. Повсеместно присутствуют в воде фенолрезистентные бактерии – показатели степени экологического риска загрязнения поверхностных вод ароматическими соединениями (Дзюбан и др, 2001; Каретникова, 2002). В чистых водах они, как правило, имеют низкую численность – единицы колоний в 1мл (Крыленкова, Ширенко, 2002), а в Кондопожской губе она достигает максимальных величин 2213, а в среднем около 500 КОЕ · мл<sup>-1</sup>. Угледородородокисляющие бактерии, также как и фенолрезистентные, являются прямыми индикаторами техногенного загрязнения. Их численность на акватории изменяется от 20 до 3400 КОЕ · мл<sup>-1</sup>, а средняя величина составляет 670± 208 КОЕ · мл<sup>-1</sup>. Особой группой бактерий, демонстрирующей загрязнение вод являются колиформные бактерии (ЛПКП), относящиеся к показателям эпидемиологического благополучия водоема. На акватории губы эти бактерии присутствуют повсеместно, однако максимальной обсемененностью воды характеризуется район выпуска сточных вод, где, по сравнению с предыдущими периодами исследований, проявляется тенденция к увеличению их содержания (см. табл.1).

Таким образом, трансформация бактериальных сообществ в губе за период с 60-х по 2000-е годы происходит в сложных условиях загрязнения ее вод отходами ЦБК и развития антропогенного эвтрофирования. Этот процесс характеризуется несколькими этапами, связанными с развитием производства и проведением природоохранных мероприятий на комбинате. На поступление сточных вод ЦБП бактериальные сообщества реагируют не только закономерным повышением общей численности и количества бактерий, растущих на обогащенных органическим веществом средах, но и возрастанием в сообществах доли специфических групп бактерий.

При отсутствии очистки сточных вод ЦБК, содержащих в своем составе большое количество биохимически лабильного органического вещества, интенсивное развитие имели сапрофитные бактерии, изымающие из воды кислород. Заметное присутствие в бактериоценозах имели денитрифицирующие, тионовые, сульфатредуцирующие, целлюлозоразрушающие бактерии. Значительного развития достигали углеводородокисляющие и целлюлозоразрушающие бактерии, однако, прекращение молевого сплава и изъятие из сточных вод волокнистых веществ в середине 80-х годов сопровождалось заметным снижением количественных показателей этих бактерий. А резкое снижение выноса со сточными водами легкоокисляемого органического вещества привело к существенному снижению в бактериальных сообществах доли сапрофитных бактерий. Увеличение объемов сбрасываемых в залив веществ с малым эффектом биологической очистки (лигносульфонатов) привело к повышению содержания олигокарбофильных бактерий и актиномицет по сравнению с чистыми водами озера. Кроме того, весьма показательной явилась активизация нитрифицирующих бактерий при поступлении в губу стоков, прошедших биологическую очистку. Бактерии, растущие на средах с фенолами и лигносульфовыми кислотами, в определенной степени, можно считать индикаторными при загрязнении водоемов отходами целлюлозно-бумажного производства. Постоянными представителями бактериоценозов являются бактерии группы кишечной палочки, количество которых в последние годы заметно возрастает по сравнению с прошлыми десятилетиями, что может свидетельствовать о неудовлетворительном обеззараживании сточных вод, поступающих в губу после СБО.

Быстрая реакция бактериопланктона на снижение антропогенной нагрузки в середине 90-х годов позволяет отнести его к чувствительным звеньям биоты на загрязнение водоемов отходами целлюлозно-бумажной промышленности, в том числе и на развитие процессов антропогенного эвтрофирования.

#### Литература

- Дзюбан А.Н., Косолапов Д. Б., Кузнецова И. А. 2001. Микробиологические процессы в Горьковском водохранилище. // Водные ресурсы. Т. 28, № 1. С. 47–57.
- Каретникова Е. А. 2002. Оценка экологического риска фенольного загрязнения водных экосистем : Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Хабаровск. 22 с.
- Крыленкова Н. Л., Ширенко Л. А. 2003. Фенолы Ладожского озера: микробиологический аспект. // Охрана и рациональное использование водных ресурсов Ладожского озера и других больших озер. Тр. IV Междун. Симпоз. по Ладожскому озеру. Великий Новгород. С. 121–125.
- Романенко В. И. 1985. Микробиологические процессы продукции и деструкции органического вещества во внутренних водоемах. / Ред. А.В. Монаков. Л.: «Наука». 295с.
- Теканова Е. В., Тимакова Т. М. 2006. Первичная продукция и деструкция органического вещества в онежском озере. / Ред. А.Ф. Алимов, В.В. Бульон. М.: Товарищество научных изданий КМК. С. 60–70.
- Тимакова Т. М., Романенко В. И. 1984. Целлюлозные бактерии и потенциальная способность разложения целлюлозы в озерах Карелии. // Микробиология. Т. 53, вып. 1, С. 142–148.
- Филимонова Н. А. 1975. Распределение микроорганизмов в воде и донных отложениях. // Кондопожская губа Онежского озера в связи с ее загрязнением промстоками ЦБК. Ч. 11. Отдел водн. пробл. Кар. Фил. АН СССР. С. 213–229.

### ГЕНЕТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИИ АТЛАНТИЧЕСКОГО ЛОСОСЯ (*SALMO SALAR*) БАССЕЙНА БЕЛОГО МОРЯ, ВЫЯВЛЕННАЯ С ПОМОЩЬЮ МИКРОСАТЕЛЛИТНЫХ МАРКЕРОВ\*

А.К. Тонтери<sup>1</sup>, А.Е. Веселов<sup>2</sup>, А.В. Зубченко<sup>3</sup>, Я.И. Лумме<sup>4</sup>, С.М. Калюжин<sup>5</sup>, М.Ю. Озеров<sup>1</sup>, К.Р. Приммер<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Департамент биологии, подразделение генетики и физиологии, Университет Турку, Финляндия

<sup>2</sup>Учреждение Российской академии наук Институт Биологии Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск, Россия.

<sup>3</sup>Полярный НИИ морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича, г. Мурманск, Россия

<sup>4</sup>Департамент биологии, Университет Оулу, Финляндия.

<sup>5</sup>Варзугский научно-исследовательский центр полярных экосистем, с. Варзуга, Россия

e-mail: [mikhail.ozarov@utu.fi](mailto:mikhail.ozarov@utu.fi)

\*Данная работа представляет собой резюме оригинальной статьи, опубликованной в *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*: Tonteri A., Veselov A.Je., Zubchenko A.V., Lumme J., Primmer C.R. «Microsatellites reveal clear genetic boundaries among Atlantic salmon (*Salmo salar*) populations from the Barents and White Seas, northwest Russia».

## Введение

Популяции атлантического лосося, нерестящиеся в реках бассейна Белого моря, следует рассматривать как одни из немногих, не затронутых сильным антропогенным воздействием (Parrish et al., 1998). Лосось этого региона, являясь главным источником биологического разнообразия для всей Европы, также имеет огромное экономическое и социальное значение, проявляющееся, например, в виде рыболовного туризма. Однако, в настоящее время, знания о генетической структуре популяций атлантического лосося бассейна Белого моря основаны, в первую очередь, на изучении митохондриальной ДНК (Asplund et al., 2004), а так же на нескольких работах, с использованием ядерных маркеров, включающих лишь небольшую часть популяций региона (Kazakov, Titov, 1991; Makhrov et al., 2005; Säisä et al., 2005; Tonteri et al., 2005). Поэтому одной из основных задач данной работы было проведение более детального исследования генетической структуры популяций с использованием ядерных маркеров. Полученную с их помощью информацию необходимо использовать для разработки планов по сохранению и управлению генетическими ресурсами. Эта информация может послужить основой для идентификации принадлежности особей, выловленных в открытом море, к той или иной популяции.

Одним из глобальных природных явлений, оказавших значительное влияние на генетическую структуру атлантического лосося бассейна Белого моря, рассматривается ледниковый период. Массивный слой льда покрывал всю эту область тысячи лет, пока лед не отступил около 11,5–12 тыс. лет назад (Svendsen et al., 2004). Постледниковая история атлантического лосося, распространенного на северо-западе России, уже изучалась до этого, и были предложены несколько сценариев реколонизации. А.А. Махров с соавторами (Makhrov et al., 2005) предположил, что колонизация бассейна Белого моря происходила из бассейна Балтики вместе с мигрантами из Атлантического океана, а бассейн Баренцева моря был заселен как из восточной, так и из западной Атлантики. О балтийском влиянии в регионе также предположили Р.В. Казаков и С.Ф. Титов (Kazakov, Titov, 1991). Однако Т. Асплунд с соавторами (Asplund et al., 2004) предположили, что колонизация рек, впадающих в Белое и Баренцево моря, происходила напрямую из восточного рефугиума (убежища), т.е. лососем, нагуливающимся в Атлантическом океане и позже мигрировавшим на Кольский полуостров. Гипотеза восточного убежища и дополнительной миграции с запада была впоследствии поддержана в работе А. Тонтери с соавторами (Tonteri et al., 2005).

Целью данной работы заключалась в изучении генетической структуры популяций атлантического лосося с помощью ядерных маркеров. В связи с этим был проведен микросателлитный анализ большого числа популяций, воспроизводящихся в нерестовых реках бассейна Белого и Баренцева морей. Всего 1352 особи атлантического лосося, представленных 34 популяциями Северного, Норвежского, Баренцева и Белого морей, были изучены с использованием 14 микросателлитных маркеров (рис. 1). Дополнительно эти данные применили для оценки относительных пропорций общего генетического разнообразия региона, что может являться основой для разработки планов по управлению генетическими ресурсами и их сохранению. Наконец, была проверена правильность данных при использовании их для идентификации принадлежности особей, выловленных в зонах рыболовного промысла, к той или иной популяции.

Принадлежность к группам, выявленным с помощью анализа главных компонент, обозначена цветом: черный – Атлантика и Запад Баренцева моря, штриховка – Восток Баренцева моря, серый – Запад Белого моря, белый – Кольский п-ов. Реки: 1-Dee – Ди, 2-Søy – Сёйя, 3-Rei – Рейса, 4-Ten – Тенойоки, 5-Tit – Титовка, 6-ZaL – Западная Лица, 7-Ura – Ура, 8-Tul – Тулома, 9-Kola – Кола, 10-Dro – Дроздовка, 11-Yok – Йоканьга, 12-Kas – Качковка, 13-Leb – Поной Лебяжья, 14-Pas – Поной Пача, 15-Dan – Даниловка, 16-Bab – Бабя, 17-Lih – Лиходеевка, 18-PuK – Пулоньга (Кольский п-ов), 19-Yug – Югина, 20-Kit – Кица, 21-Yar – Варзуга Ялома, 22-Ole – Оленица, 23-Umb – Умба, 24-Pil – Пила, 25-Kolv – Колвица, 26-Nil – Нильма, 27-PuW – Пулоньга (Белое море), 28-Pon – Поньгома, 29-Sum – Сума, 30-Emt – Северная Двина Емца, 31-Pad – Северная Двина Падомы, 32-Meg – Мегра, 33-Piz – Печора Пижма, 34-Unj – Печора Унья.

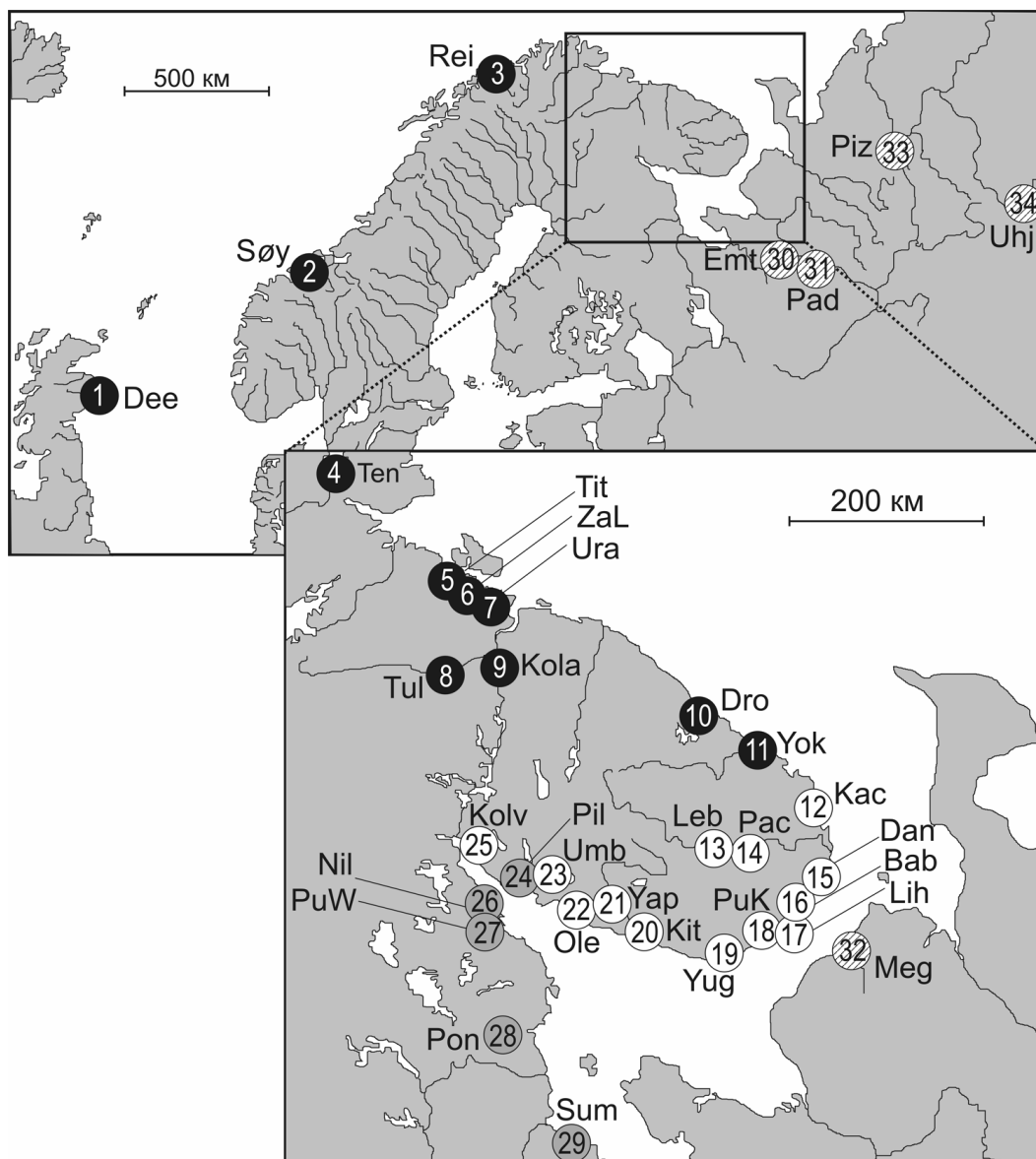


Рис. 1. Схема мест сбора образцов популяций атлантического лосося.

### Результаты и обсуждение

На основании данных микросателлитной изменчивости исследованные популяции были разделены на четыре кластера. Популяции атлантического лосося, воспроизводящиеся в реках западной части Баренцева моря, образовали единый кластер с популяциями, нерестящимися в реках северо-восточной Атлантики. Кроме того, популяции из рек Белого и восточной части Баренцева моря были разделены на три дополнительные группы (рис. 2). Популяции востока и юга Кольского полуострова (Белое море) составили одну группу, за исключением популяций из рек Оленица и Пила, которые попали в кластер с популяциями западного побережья Белого моря, формирующих третью группу. Четвертая группа была сформирована популяциями восточной части Белого моря и Баренцева моря за исключением популяции реки Мегра (Архангельская область), которая попала в группу с географически близкими популяциями восточной части Кольского полуострова. Популяция реки Сума из южной части Белого моря оказалась в одной группе с популяциями из восточной части Белого и Баренцева морей. Сформированные кластеры четко соотносятся с географическими регионами отбора образцов. Наиболее вероятно, что полученные группы отражают историю колонизации региона. Вместе с тем, теоретически, границы между ними должны медленно исчезать, т.к. они не поддерживаются естественным отбором. Однако необходимы дальнейшие исследования, прежде чем могла бы быть определена относительная роль естественного отбора и филогеографической истории.

Никакой разницы в уровне генетического разнообразия не было отмечено между группами Атлантики, западной части Баренцева моря и Кольского полуострова или между группами западной части Белого моря и восточной части Баренцева моря (табл.). Однако уровень генетического разнообразия популяций западной части Белого моря (Карелия) был достоверно ниже, чем популяций Атлантики, западной части Баренцева моря и популяций Кольского полуострова. Так же и популяции восточной части Баренцева моря показали более низкие значения генетического разнообразия, чем популяции Атлантики, западной части Баренцева моря и популяции Кольского полуострова.

Показатели генетического различия ( $F_{ST}$ ) внутри групп для кластеров западной части Белого моря и восточной части Баренцева моря были достоверно выше по сравнению с двумя другими группами (Атлантики, западной части Баренцева моря и группы Кольского полуострова). Однако показатели  $F_{ST}$  для групп западной части Белого моря и восточной части Баренцева моря не отличались достоверно друг от друга, так же как и эти показатели для двух других групп (табл.).

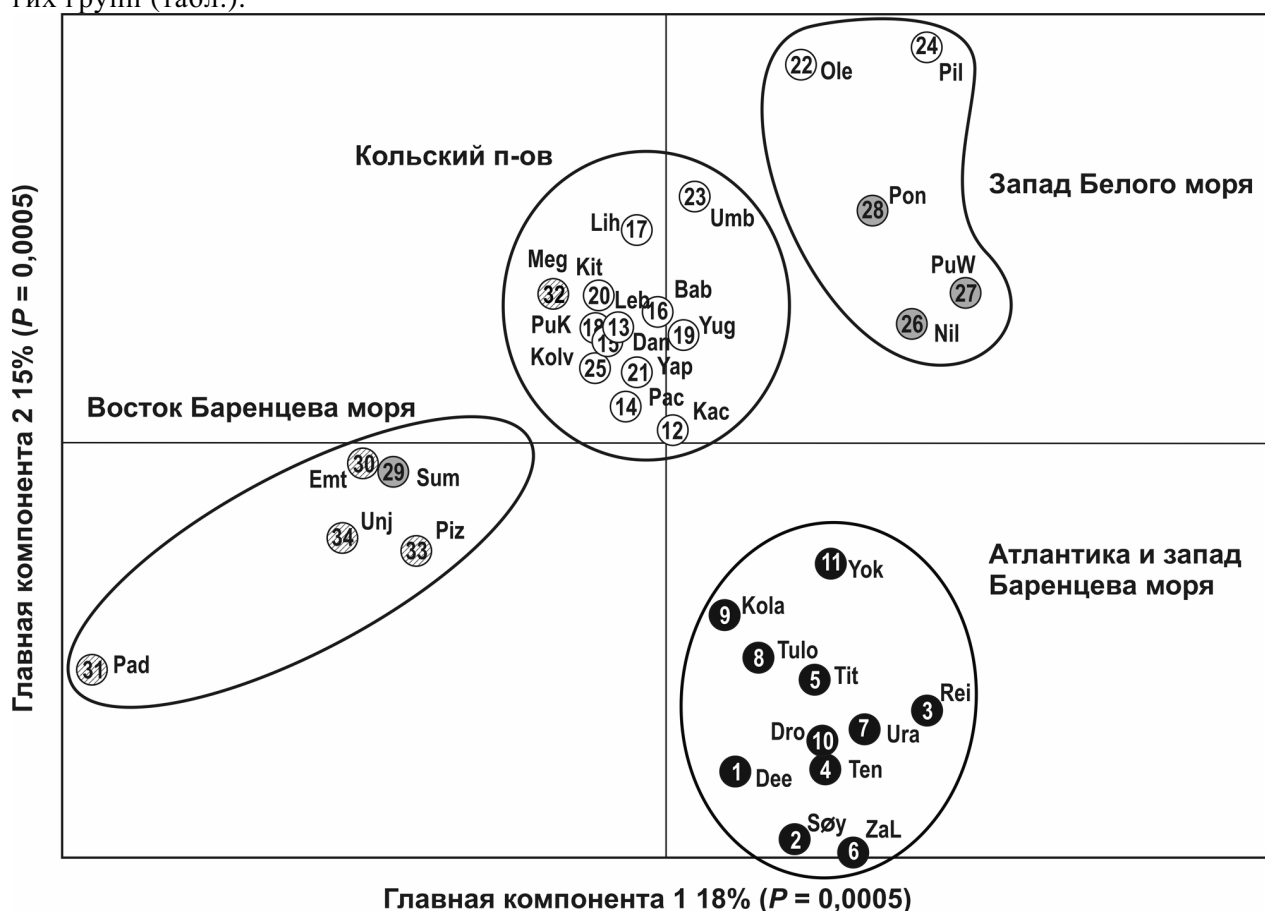


Рис. 2. Распределение лосося в пространстве главных компонент: черные кружки – популяции лосося северо-западной части Атлантического океана и западной части Баренцева моря, белые – восточной и южной частей Кольского п-ова, серые – западной части Белого моря, заштрихованные – восточной части Белого и Баренцева морей.

Успешность моделирования распределения выловленных на нагуле особей в свою речную популяцию сильно различалась. На уровне групп успех определения был относительно выше, показывая, что большинство неправильных определений на уровне популяции было опосредовано особями, попавшими в другую популяцию из той же группы (табл.). В некоторых случаях низкий уровень успешности являлся следствием слишком малого числа отобранных для исследований особей. Тем не менее, доля успешных попыток при определении региона происхождения была относительно высокой (87–96%), указывая, что этих данных было достаточно для относительно точного определения на таком уровне (табл.).

**Средние показатели генетического разнообразия и различия популяций, выявление достоверного сигнала изоляции расстоянием внутри региона и средняя степень успешного распределения особей на уровне популяции и подгруппы**

Регион	Генетическое разнообразие ( $A_r$ , $H_e$ )	Генетическое различие ( $F_{ST}$ )	Достоверность изоляции расстоянием?	Средняя степень успешного распределения (%):	
				в подгруппу	в популяцию внутри подгруппы
Запад Баренцева моря / Атлантика	7,3; 0,73	0,032	Да	87	62
Кольский п-ов (Белое море)	7,1; 0,71	0,022	Да	93	45
Запад Белого моря	5,1; 0,65	0,101	Нет	96	95
Восток Баренцева моря	5,3; 0,64	0,108	Нет	96	90

Таким образом, с относительно высокой степенью точности полученные данные могут быть использованы для определения региона происхождения особей, которые выловлены в открытом море (рис. 2). Однако для идентификации на уровне популяций требуются исследования большего количества локусов и, в некоторых случаях, большего количества образцов.

Изоляция расстоянием определялась путем попарных сравнений генетических дистанций, выраженных как  $F_{ST}/(1-F_{ST})$  и географических расстояний, измеренных как кратчайший водный путь между местами взятия образцов (в км). Несмотря на то, что показатель изоляции расстоянием был достоверным при включении в анализ всех исследованных популяций, для отдельных групп достоверная изоляция расстоянием была отмечена только среди популяций образующих группу Кольского полуострова (бассейн Белого моря), группу Атлантики и западной части Баренцева моря, тогда как в других двух группах не было отмечено признаков изоляции расстоянием (рис. 3, табл.). Это указывает на то, что пространственный масштаб, на котором была изучена изоляция расстоянием, имеет значение, что также было отмечено и в более ранних работах (Slatkin, 1993; Rousset, 1997; Ehrich, Stenseth, 2001; Castaic, Bernatchez, 2003). Нами был обнаружен существенный разброс в наклоне линии регресса при изоляции расстоянием, когда рассматриваемые популяции были отдалены друг от друга на расстояние 100 км или меньше.

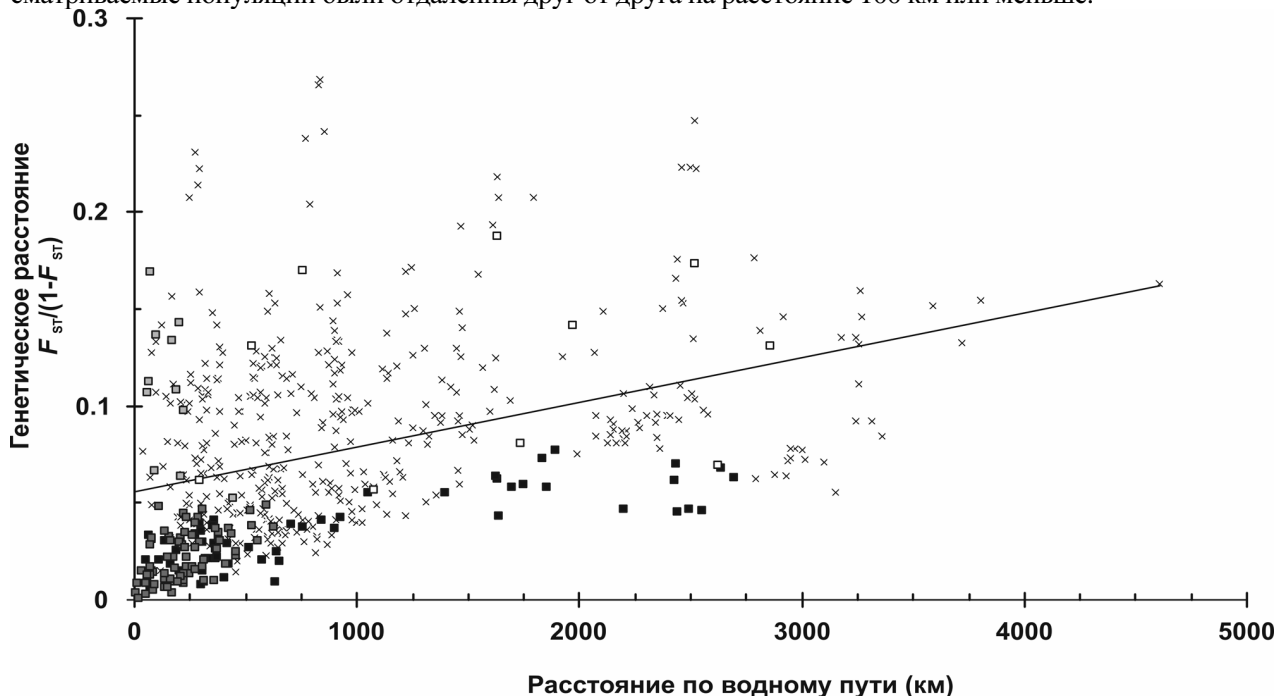


Рис. 3. Связь между географическими и генетическими расстояниями изученных популяций атлантического лосося. Квадратами обозначены межпопуляционные расстояния в каждой из групп, выявленные анализом основных компонент (черные – Атлантика и западная часть Баренцева моря; темно серые – Кольский п-ов; светло серые – западная часть Белого моря; белые – восточная часть Баренцева моря), межпопуляционные расстояния между четырьмя группами представлены крестиками. Линия показывает регрессию всех межпопуляционных сравнений ( $r_{XY} = 0,39$ ;  $P = 0,008$ ).

Наблюдаемая ситуация могла бы быть объяснена прохождением популяциями состояния «бутылочного горлышка», т.е. относительно короткого периода времени, когда в силу определенных, непредсказуемых экстремальных ситуаций выживает небольшое количество особей от начальной численности популяции. Вследствие этого теряется большая часть оригинального генетического разнообразия. Чаще всего «бутылочное горлышко» вызвано изменениями окружающей среды. Однако в нашей работе его не было выявлено. Наиболее вероятное объяснение состоит в том, что изученные популяции находятся в неравновесной ситуации по потоку/дрейфу генов, поскольку вся изученная область была скрыта массивным ледяным покровом в течение последнего ледникового максимума приблизительно 25–15 тыс. лет назад (Svendsen et al., 2004). Архангельская область была освобождена ото льда приблизительно 13 тыс. лет назад, а Белое море и большая часть Кольского полуострова приблизительно 11,5–12 тыс. лет назад (Svendsen et al., 2004). Таким образом, вероятно, атлантический лосось из Белого моря все еще проходит временную фазу перехода к равновесию, и сигнал изоляции расстоянием не может быть обнаружен на больших географических дистанциях.

Четкое разделение популяций на группы: побережье Белого моря, включая Кольский полуостров, северо-восточную Атлантику и западное побережье Баренцева моря, а также на восточное побережье Баренцева моря, указывает на то, что эти регионы были колонизированы из разных убежищ. Реки Белого моря и восточного побережья Баренцева моря были колонизированы с востока, как и предполагалось до этого (Asplund et al., 2004; Tonteri et al., 2005), и подтверждается настоящими наблюдениями различных характеристик для популяций этой области. Предположения о миграции с запада в западную часть Баренцева моря были сделаны в предыдущих исследованиях (Asplund et al., 2004; Makhrov et al., 2005; Tonteri et al., 2005), а так же подтверждаются результатами данной работы. Вышеизложенное также позволяет сделать заключение, что западная часть Баренцева моря была колонизирована скорее с запада, чем с востока после схода ледника, или, что западные линии, по крайней мере, значительно повлияли на генетический состав современных популяций атлантического лосося этой области.

### Заключение

Так какие же популяции должны быть сохранены в первую очередь, согласно обнаруженной в регионе генетической структуре? Четыре группы с различной послеледниковой историей, выявленные в этой работе, могут рассматриваться в качестве отправной точки для определения четырех единиц управления генетическими ресурсами. Несомненно, для этих четырех групп могут потребоваться различные стратегии управления, поскольку были выявлены два различных типа генетического разнообразия и различия (табл.). Популяции лосося, нерестящиеся в реках Кольского полуострова в бассейне Белого моря, а также в бассейне Атлантического океана и западного побережья Баренцева моря показали большее генетическое разнообразие и меньшее генетическое различие, чем популяции воспроизводящиеся в реках западного побережья Белого моря и восточного побережья Баренцева моря. При этом у двух предшествующих групп наблюдается изоляция расстоянием (табл.). Это означает, что относительная значимость потока генов по сравнению с их дрейфом играет разную роль в определении структуры популяции в этих четырех регионах. Поток генов оказывает большее влияние в реках Кольского полуострова, Атлантики и западной части Баренцева моря, а дрейф генов – в западной части Белого моря и восточной части Баренцева моря.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №08-04-91771-АФ\_а), Академии наук Финляндии (грант №124121), Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Биологическое разнообразие» (2009–2011 гг.) и Варзугского научно-исследовательского центра полярных экосистем.*

### Литература

- Asplund T., Veselov A., Primmer C.R., Bakhmet I., Potutkin A., Titov S., Zubchenko A., Studenov I., Kaluzhchin S., Lumme J., 2004. Geographical structure and postglacial history of mtDNA haplotype variation in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) among rivers of the White and Barents Sea basins // *Annales Zoologici Fennici* V. 41. P. 465–475.
- Castric V., Bernatchez L. 2003. The rise and fall of isolation by distance in the anadromous brook charr (*Salvelinus fontinalis* Mitchell) // *Genetics* V. 163. P. 983–996.
- Ehrich D., Stenseth N.C. 2001. Genetic structure of Siberian lemmings (*Lemmus sibiricus*) in a continuous habitat: large patches rather than isolation by distance // *Heredity* V. 86. P. 716–730.

- Kazakov R.V., Titov S.F. 1991. Geographical patterns in the population genetics of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., on U.S.S.R. territory, as evidence for colonization routes // *Journal of Fish Biology* V. 39. P. 1–6.
- Makhrov A.A., Verspoor E., Artamonova V.S., O'Sullivan M. 2005. Atlantic salmon colonization of the Russian Arctic coast: pioneers from the North America // *Journal of Fish Biology* V. 67 (supplement A). P. 68–79.
- Parrish D.L., Behnke R.J., Gephard S.R., McCormick S.D., Reeves G.H. 1998. Why aren't there more Atlantic salmon (*Salmo salar*)? // *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* V. 55 (supplement 1). P. 281–287.
- Rousset F. 1997. Genetic differentiation and estimation of gene flow from F-statistics under isolation by distance // *Genetics* V.145. P. 1219–1228.
- Säisä M., Koljonen M.-L., Gross R., Nilsson J., Tähtinen J., Koskiniemi J., Vasemägi A. 2005. Population genetic structure and postglacial colonization of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in the Baltic Sea area based on microsatellite DNA variation // *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* V. 62. P. 1887–1904.
- Slatkin M. 1993. Isolation by distance in equilibrium and non-equilibrium populations // *Evolution* V. 47. P. 264–279.
- Svendsen J.I., Alexanderson H., Astakhov V.I., Demidov I., Dowdeswell J.A., Funder S., Gataullin V., Henriksen M., Hjort C., Houmark-Nielsen M., Hubberten H.W., Ingolfsson O., Jakobsson M., Kjær K.H., Larsen E., Lokrantz H., Lunkka J.P., Lyså A., Mangerud J., Matiouchkov A., Murray A., Möller P., Niessen F., Nikolskaya O., Polyak L., Saarnisto M., Siegert C., Siegert M.J., Spielhagen R.F., Stein R. 2004. Late Quaternary ice sheet history of northern Eurasia // *Quaternary Science Reviews* V. 23. P. 1229–1271.
- Tonteri A., Titov S., Veselov A., Zubchenko A., Koskinen M.T., Lesbarrères D., Kaluzhin S., Bakhmet I., Lumme J., Primmer C.R. 2005. Phylogeography of anadromous and non-anadromous Atlantic salmon (*Salmo salar*) from northern Europe // *Annales Zoologici Fennici* V. 42. P. 1–22.

## GENETIC STRUCTURE OF ATLANTIC SALMON (*SALMO SALAR*) POPULATION OF THE WHITE SEA BASIN REVEALED WITH MICROSATELLITE MARKERS

A.K. Tonteri<sup>1</sup>, A.Je. Veselov<sup>2</sup>, A.V. Zubchenko<sup>3</sup>, J.I. Lumme<sup>4</sup>, S.M. Kalyuzhin<sup>5</sup>, M.Yu. Ozerov<sup>1</sup>, C.R. Primmer<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Biology, Division of Genetics and Physiology, University of Turku, Finland

<sup>2</sup>Institute of Biology, Karelian research Centre, Petrozavodsk, Russia

<sup>3</sup>Knipovich Polar Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography, Murmansk, Russia

<sup>4</sup>Department of Biology, University of Oulu, Finland

<sup>5</sup>Varzuga Research Centre of Polar Ecosystems, Varzuga, Russia

e-mail: mikhail.ozarov@utu.fi

Atlantic salmon (*Salmo salar*) populations spawning in the rivers of White sea basin are among the last European populations which are not majorly affected by human activities. Thus they form an important source of biodiversity for the entire European region in addition of being of immense economic and social importance to the local people. Here, microsatellite analysis of an extensive set of Atlantic salmon populations from the White and Barents Sea area was carried out in order to gain an insight into the population genetic structure based on nuclear markers. The populations were separated into four distinct clusters and individual assignment accuracy at the regional level (Atlantic and West Barents Sea; Kola Peninsula; Western White Sea; Eastern Barents Sea) was relatively high (87–96% success). These four groups can be considered as a good starting point for defining four distinct management units in the region, each of which may require differing management strategies as distinct patterns of genetic diversity and divergence characteristics were detected in different groups. Furthermore, the data obtained here can be used to differentiate individuals caught in offshore fisheries on a regional level with a relatively high degree of accuracy.

## МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ МЕЗОТРОФНОГО ОЗЕРА (ОЗ. КРАСНОЕ, КАРЕЛЬСКИЙ ПЕРЕШЕЕК)

И.С.Трифонов, Е.С. Макарец, Е.Н.Чеботарев

Учреждение Российской академии наук Институт озера РАН,

г. Санкт-Петербург, Россия, e-mail: itrifonova@mail.ru

Оз. Красное (Карельский перешеек) – один из уникальных объектов многолетних наблюдений на Северо-Западе России. Регулярные наблюдения за экосистемой озера проводятся с 1963 г. (Многолетние..., 2008). Ход среднегодовых величин уровня озера за 1964–2008 годы показывает,



что в этот период наблюдался спад водности с 1964 по 1973 год (на 70 см) и затем систематический подъем до 1996 г. В 1997 г. уровень упал на 40 см, и был самым низким в 1999 и 2002 гг. Маловодная фаза 1998–2006 гг. была менее продолжительна и минимальный уровень 2002 г. был выше, чем в 1972 г. Данные 2007–2008 гг. подтверждают начало нового многоводного периода. В рассматриваемом периоде времени выделяются группы лет с повышенной и пониженной температурой воды. Многолетняя изменчивость температуры воздуха в бассейне озера подвержена близким к циклическим колебаниям (с периодом около 11 лет) на фоне общего понижения до конца 80-х гг. и увеличения с начала 90-х гг. до настоящего времени.

Анализ межгодовой динамики состава и количественных показателей планктонных сообществ позволил выявить увеличение продуктивности фитопланктона, связанное с изменением фосфорной нагрузки на озеро в конце 60-х – начале 70-х годов. Реальная фосфорная нагрузка на озеро превосходила критическую почти в два раза, а по содержанию общего фосфора и уровню развития фитопланктона озеро находилось на стадии перехода от мезотрофного к эвтрофному состоянию (Эвтрофирование ..., 1980). Увеличение трофического статуса озера совпало с пиком маловодной фазы начала 70-х гг. Обследование водосбора в 80-е гг. в период многоводной фазы выявило значительное усиление антропогенного влияния, связанное, прежде всего с интенсивным развитием сельского хозяйства и мелиораций. Интенсивное эвтрофирование озера в результате увеличения биогенной нагрузки в 70–80-е годы вызвало рост биомассы и продукции фито-, бактерио- и зоопланктона в 2–3 раза по сравнению с 60-ми годами (Методические..., 1988). Наряду с увеличением биомассы и уровня продуктивности отмечались существенные изменения в структуре сообществ. В фитопланктоне в маловодные 70-е годы наблюдалось массовое развитие синезеленых водорослей и частое цветение воды, в многоводные 80-е преобладали диатомовые и динофлагелляты, увеличилась роль нанопланктонных водорослей весной, повысилось разнообразие. В зоопланктоне возросла роль крупных фильтраторов из рода *Daphnia*, почти в 5 раз увеличилась численность коловраток, что привело к увеличению в 2.5 раза общей численности зоопланктона, особенно в многоводные 80-е годы.

В начале 90-х содержание биогенных элементов и продуктивность фитопланктона были близки к данным 80-х и трофический статус озера не изменился. Подтвердилась, выявленная ранее, зависимость уровня развития фитопланктона от погодных условий. Наибольшие величины отмечались в теплые годы. По биомассе преобладали диатомовые водоросли, но в годы с низким уровнем воды в летний период отмечалось заметное развитие синезеленых. При этом, как и в предыдущий период наблюдений, в холодные годы по уровню продуктивности фитопланктона озеро проявляло себя как мезотрофное, а в наиболее теплые – как слабо-эвтрофное. В середине 90-х в связи с ослаблением антропогенного влияния на озеро из-за спада в сельском хозяйстве, наметилась тенденция снижения численности и биомассы планктонных сообществ и перестройка их структуры. В зоопланктоне уменьшилась роль коловраток и увеличилась численности веслоногих раков. Наметилось снижение численности и биомассы бактериопланктона. С 1998 г. после летнего паводка началось новое повышение содержания фосфора в озере, которое совпало с началом маловодной фазы водности. В маловодные 1999–2002 гг. отмечались максимальные за весь период наблюдений биомассы фитопланктона (до 7 г/м<sup>3</sup> в среднем за сезон) и массовое развитие синезеленых водорослей. Однако, увеличения количественных показателей зоо- и бактериопланктона в этот период не наблюдалось.

После периода роста содержания общей и минеральной форм фосфора в воде озера, в настоящее время роста не наблюдается и отмечается даже некоторое снижение их концентраций. Одновременно отмечено снижение биомассы фитопланктона. Средняя за сезон биомасса фитопланктона составила в 2005–2007 гг. – 3,5–5,2 г/м<sup>3</sup>. В целом, средние величины биомассы и содержания хлорофилла свидетельствуют о том, что трофический статус озера изменился слабо. По уровню продуктивности фитопланктона озеро можно считать по-прежнему мезотрофным и даже слабо-эвтрофным водоёмом.

Многолетние наблюдения за бактериопланктоном позволили обнаружить наличие существенных изменений в бактериальном сообществе, которые через процессы бактериальной продукции и деструкции влияли на формирование качества воды озера. В середине 60-х гг. общая численность бактериопланктона была низкой. Она значительно увеличилась в 70-х и к началу 80-х гг. средняя за вегетационный период величина составила 1.7–1.8 млн. кл./мл. Замедление темпов эвтрофирования в середине 90-х проявилось в некотором снижении численности бактерий. Известно, что сообщество микроорганизмов тесно связано с уровнем воды. В оз. Красном в многоводную фазу 80-х гг. численность бактерий возрастала особенно быстро. После 1996 г. в начале маловодной фазы, отмечена

стабилизация численности бактериопланктона. Численность гетеротрофных бактерий в озере на протяжении многих лет изменялись в сравнительно узких пределах, и, в отличие от бактериального сообщества в целом, не проявляла тенденцию к возрастанию. Скорее наоборот, доля гетеротрофных бактерий в бактериопланктоне в 90-е гг. и в 2001–2005 гг. была заметно ниже, чем в 60–80-е гг.

Межгодовые различия в сезонной динамике планктонных сообществ оз. Красного объясняются погодными условиями. В теплые годы отмечается больший по величине и продолжительности летний пик фитопланктона и преобладание в зоопланктоне теплолюбивого комплекса короткоцикловых ветвистоусых ракообразных и коловраток. Увеличивается напряженность трофических связей двух сообществ, часть первичной продукции недоиспользуется, что ведет к усилению процессов эвтрофирования. В более холодные годы в зоопланктоне доминируют веслоногие ракообразные и циклопы с более длительным жизненным циклом, что определяет сглаженный ход кривой численности и биомассы. При снижении продукции водорослей рацион фильтраторов составляет до 92% первичной продукции.

Изменения структуры и продуктивности планктонных сообществ под влиянием эвтрофирования приводят к изменениям характера взаимоотношений между ними. Соотношения биомасс зоо- и фитопланктона и роль зоопланктона в общей биомассе и продукции планктона были наименьшими при максимальном эвтрофировании. В этот период отмечалось также ослабление трофических связей внутри планктонного сообщества. При этом на процесс эвтрофирования накладывалось влияние климатических факторов (фаз водности и температурных условий), которые необходимо учитывать при оценке трофического состояния озер. Отношение биомассы зоо- и фитопланктона в разные периоды наблюдений колебалось от 0.33 до 0.62, отношение их продукции – от 0.06 до 0.11. В оз. Красном в среднем за сезон рацион зоопланктона составляет 70% продукции водорослей. По результатам МБП в озерах мира он колеблется от 22 до 119%, при среднем – 50% (Иванова, 1981). Снижение этих величин, отражающих роль животных в общей биомассе и продукции планктона, а также отношения рациона мирного зоопланктона к первичной продукции, соответствовало наиболее интенсивному эвтрофированию озера в 70–80-е годы, когда продукция водорослей недоиспользовалась. В период наибольшего эвтрофирования снижалась роль беспозвоночных в общей биомассе и продукции планктона, что связано как с увеличением биомассы фитопланктона, так и с преобладанием в зоопланктоне мелкой фракции. Тенденция к снижению проявляется и в интенсивности выедания водорослей, которое оценивается отношением рациона мирного зоопланктона к первичной продукции. В конце 90-х и начале 2000-х гг. с наступлением маловодной фазы отмечено увеличение биомассы фитопланктона, в то время как биомасса и продуктивность зоопланктона уменьшались. Сходное явление с начала 80-х годов прослеживается для планктона Рыбинского водохранилища (Лазарева и др., 2001). В этих условиях продукция водорослей снова недоиспользовалась, т.е. процессы самоочищения в озере замедлялись. Ослабление пресса зоопланктона и связей между двумя сообществами при эвтрофировании водоемов отмечено многими исследователями (Иванова, 1981; Макарецца, 1985; Макарецца, Трифонова, 1991; Андроникова, 1996; Трифонова, Макарецца, 2006 и др.). Однако, даже в период интенсивного эвтрофирования в оз. Красном соотношения биомассы и продукции фито- и зоопланктона представлены величинами, характерными для мезотрофных озер.

При анализе многолетней динамики хлорофилла в Рыбинском водохранилище выявлена цикличность, близкая к 11-летнему ритму климатических процессов, связанных с соответствующими колебаниями солнечной активности (Пырина, 2000). С этими циклами фактически совпадает многолетняя изменчивость фитопланктона в оз. Красном, где максимальные биомассы отмечены приблизительно в те же годы, что и в Рыбинском водохранилище. Однако, на эти циклические изменения накладывается увеличение продуктивности фитопланктона, связанное с эвтрофированием озера. Кроме того, по многолетним данным выявляются краткосрочные циклы сообществ фито- и зоопланктона, изменяющихся в противофазе (Трифопова, Макарецца, 2006).

#### Литература

- Андроникова И.Н., 1996. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем / СПб.: Наука. 160 с.
- Иванова М.Б., 1981. Соотношение трофических уровней в планктоне пресных вод // Журнал общей биологии. Т. 42. № 2. С. 199–209.
- Лазарева В.И., Лебедева И.М., Овчинникова Н.К., 2001. Изменения в сообществе зоопланктона Рыбинского водохранилища за 40 лет // Биол. внутр. вод. № 4. С. 46–58.

Макарцева Е.С., 1985. Роль зоопланктона в трансформации органического вещества в разнотипных озерах. Автореф. дис... канд. биол. наук. СПб.: ГОСНИОРХ. 25 с.

Макарцева Е.С., Трифонова И.С., 1991. Особенности сезонного функционирования сообществ фито- и зоопланктона в озерах различной трофности // Антропогенные изменения малых озер (причины, последствия, возможность управления). СПб.: Гидрометеиздат, С. 300–303. Методические аспекты лимнологического мониторинга. 1988./ Ред. И.С.Трифорова. Л.: Наука. 178 с.

Многолетние изменения биологических сообществ мезотрофного озера в условиях климатических флуктуаций и эвтрофирования. 2008./ Ред. И.С.Трифорова. СПб.: Лема. 246 с. Пырина И.Л., 2000. Многолетние исследования содержания пигментов фитопланктона Рыбинского водохранилища // Биол. внутр. вод. № 1. С. 38–44.

Трифорова И.С., Макарцева Е.С., 2006. Сезонная и многолетняя динамика фито- и зоопланктона и их взаимоотношения в мезотрофном озере // Биол. внутр. вод. № 3. С. 18–25.

Эвтрофирование мезотрофного озера. 1980./ Ред. И.Н.Андроникова. Л.: Наука. 185 с.

## **LONG-TERM CHANGES OF PLANKTONIC COMMUNITIES IN A MEZOTROPHIC LAKE (LAKE KRASNOE, KARELIAN ISTHMUS)**

**I.S.Trifonova, E.S.Makartseva, E.N.Tchebotaryov.**

Institute of Limnology RAS, St.-Petersburg, Russia

According to the long-term researches (1964–2008) changes have been traced in structure and productivity of planktonic communities (phyto-, zoo-, bakterioplankton) in mezotrophic Lake Krasnoe (Karelian isthmus). Influence of eutrophication and hydrological factors, first of all changes in water level and temperature caused by climatic fluctuations on long-term dynamics of biological communities and populations number of dominant species have been analysed. Trophic relationship between planktonic communities in seasonal and long-term aspects have been considered for different periods of the lake evolution.

## **СОСТОЯНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА ПРЕСНОВОДНОГО ЛОСОСЯ В НЕКОТОРЫХ ПРИТОКАХ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА.**

**И.А. Тыркин, И.Л. Щуров, В.А. Широков**

Северный научно-исследовательский институт рыбного хозяйства (СевНИИРХ), Петрозаводского государственного университета, г. Петрозаводск, Россия

e-mail: shurov@research.karelia.ru

### **Введение**

Как известно, пресноводный лосось ранее был важным объектом рыболовства в Онежском озере. В 19 веке лосось заходил на нерест не менее чем в 22 притока Онежского озера (Пушкарёв, 1900), но к концу 19 века лосось исчез в реках Шокша, Тамбица, Аржема, Возрица, Нелюкса, Ис-сельга и Филиппа; а к концу 20 века перестали быть лососевыми и реки Суна, Лососинка, Уница, Туба (Смирнов, 1971).

Река Шуя на протяжении существования лососевого промысла являлась основным нерестовым притоком, на ее долю приходилось 75% уловов лосося по озеру.

В связи с катастрофическим падением численности стада лосося его промысел был прекращен в 1993 году, в 1994 году на реке Шуя было установлено рыбоучетное заграждение и начались работы по искусственному воспроизводству шуйского лосося.

### **Материалы и методы**

Реки обследовались путем сплава на лодках и пешими маршрутами. Во время обследования особое внимание уделялось детальной оценке состояния нерестово-выростных угодий лосося и их площади. Для этого отмечался характер реки (глубина, скорость течения, состав донного грунта, ширина и протяженность порогов и перекатов). На всех участках реки, по своим параметрам потенциально пригодных для нереста лосося и обитания молоди лосося, проводили облов электроловом по стандартной методике. Плотность заселения реки молодью оценивали по результатам электроло-

ва. Расчеты проводили по методу Зиппина (Zippin, 1956). У всей отловленной молоди измеряли длину АВ, АС, вес, а также брали пробы чешуи, по которой определяли возраст.

Происхождение лосося (от естественного нереста или заводской), отловленного в Онежском озере, определяли по структуре чешуи. У заводской молоди центр большинства чешуй разрушен, что позволяет надежно отличать ее по этому признаку от «дикий».

Оценка распределения в озере «диких» по своему происхождению особей проводилась на основании анализа темпа роста. Известно, что темп весового прироста нагульного лосося в Онежском озере у представителей различных стад существенно различается (Зборовская, 1936; Смирнов, 1971; и др.). Максимальные привесы отмечены для лосося реки Шуя (в среднем 1,14 кг/год), привесы лосося других стад (рек Пяльма, Водла и других) не превышают 0,9 кг/год. Это дает возможность достоверно оценить долю шуйского лосося («заводского» и «дикий») по отношению к «дикому» лососю из других нерестовых притоков озера.

### Результаты и обсуждение

**Река Шуя.** Река берет начало из озера Суоярви. Общая протяженность реки 272 км. Площадь водосбора 10267 км<sup>2</sup>, коэффициент озёрности 10,3%, падение 163 м. (Смирнов, 1971). До возведения в 1937 г. плотины ГЭС «Игнойла» лосось беспрепятственно мигрировал на нерестово-выростные угодья (НВУ) в верхней части бассейна р. Шуя. Створ ГЭС расположен примерно в 65 км от истока из оз. Суоярви и в 130 км от впадения в Онежское озеро. После постройки ГЭС верхняя часть бассейна Шуи, включая основное русло и наиболее крупные притоки первого порядка, утратили рыбохозяйственное значение как зона воспроизводства лосося.

Основные НВУ лосося в русле реки расположены между 20–26 км, 37–41 км, 57–62 км и 48–80 км. Ранее нами установлено, что общая площадь НВУ реки Шуи на участке от плотины Игнойльской ГЭС до устья составляет 1262000 м<sup>2</sup>, из них площадь НУ – 393900 м<sup>2</sup>. Пороги имеют разную репродуктивную ценность, наибольшей обладают два порога: Виданский и Бесовецкий, которые в сумме составляют 42% общего фонда НВУ и 68 % НУ реки.

До 1999 года численность молоди лосося в притоках Онежского озера держалась на критически низком уровне (Отчет СевНИИРХ, 2000). В последующем наблюдалось постепенное увеличение плотности заселения молодь НВУ реки Шуя. В 2005 году были отмечены высокие плотности молоди лосося в реке Шуя за весь период наблюдений (1999–2008 годы). В 2006 – 2008 гг. численность молоди сохранялась на таком же высоком уровне (табл.1). Это свидетельствует о благоприятных условиях для нереста производителей лосося и обитания молоди в реке в последние годы.

Таблица 1

**Плотность расселения молоди на основных порогах р. Шуя в 2005–2008 гг., экз/100м<sup>2</sup>**

Возрастные группы	Виданский 1	Виданский 2	Виданский 3	Бесовецкий	Нижнебесовецкий
2005 год					
0+	28,38	31,43	21,37	22,0	0
1+	5,93	9,9	5,91	6,05	12,78
2+	0,74	1,31	0,66	2,42	20,44
Общая	35,05	42,64	27,94	30,47	33,22
2006 год					
0+	22,8	25,4	17,37	17,6	15,02
1+	6,93	8,9	6,91	5,1	11,7
2+	1,5	1,3	0,85	2,4	6,44
Общая	31,23	35,6	25,13	25,1	33,16
2007 год					
0+	25,38	30,2	20,3	24,0	14,3
1+	5,2	9,1	5,6	5,9	10,8
2+	1,2	1,3	0,72	2,1	7,4
Общая	31,78	40,6	26,62	32,0	32,5
2008 год					
0+	26,0	28,2	17,2	26,4	15,4
1+	7,1	8,9	6,1	6,8	8,5
2+	1,3	1,5	1,1	1,9	5,6
Общая	34,4	38,6	24,4	35,1	29,5

**Река Сяпся.** Река Сяпся является притоком реки Шуи. Общая площадь НВУ р. Сяпси составляет около 44000 м<sup>2</sup> (4,4 га). В 80-е годы прошлого века пороги и перекаты р. Сяпси не были способны выполнять функцию нерестилищ лосося. Причина заключалась в том, что лесосплав, сельскохозяйственная и лесная мелиорация изменили гидрологию порогов. В результате всего этого пороги стали почти не пригодны для нереста и мало пригодны для обитания лососевой молоди. В начале 90-х годов была начата рекультивация порогов. В 2004 году была осуществлена рекультивация двух участков Кракульского порога. После приведения НВУ в надлежащее состояние были выполнены рыбоводные работы (закладка икры в искусственные нерестовые бугры, выпуск молоди), что уже дало положительный результат. Численность молоди лосося на восстановленных порогах существенно возросла (табл. 2).

До рекультивации общая плотность молоди лосося на Кракульском пороге не превышала 15,1 экз/100 кв. м.

Таблица 2

**Плотность расселения молоди на основных порогах р. Сяпся, экз/100 м<sup>2</sup>**

Возрастные группы	Кракульский		Ковера	
	2005 г.	2007 г.	2005 г.	2007 г.
0+	19,8	26,3	3,5	17,1
1+	18,4	14,6	2,4	7,2
2+	6,9	4,6	0,7	1,8
Общая	45,1	45,5	6,6	26,1

**Река Пяльма.** Эта река – в прошлом третий по численности локальной популяции лосося приток Онежского озера, сейчас утратила свое значение в общем популяционном фонде из-за отсутствия мер по рыбоохране. Общая протяжённость реки 68 км. Основные нерестилища в притоке Жилая Тамбица (30–22 км от устья) и в самой Пяльме (6,0–0,4 км от устья). Пороги между устьем притока Жилая Тамбица и Кривым порогом (17,9–7,5 км от устья) мало пригодны для НВУ из-за грунта. В притоке Жилой Тамбицы – Туне (впадает 17 км от устья Тамбицы) подходящие пороги имеются только в нижней трети реки на протяжении 4,5 км. (Смирнов, 1971). Контрольные обловы НВУ в период 2000–2006 годы показали невысокие плотности сеголетков (24,4 экз/100 м<sup>2</sup>) и пестрятки (13 экз/100 м<sup>2</sup>), что говорит о напряженном состоянии естественного воспроизводства (Биоресурсы Онежского озера, 2008). Но результаты обследования НВУ реки в 2008 году показали, что ситуация изменилась в лучшую сторону. Так в 2008 году плотности молоди лосося на НВУ реки Пяльма составили: сеголетки – 51,4 экз/100 м<sup>2</sup>, пестрятки – 26,6 экз/100 м<sup>2</sup>.

**Река Суна.** Общая протяжённость реки 281,6 км (Смирнов, 1971). Вскоре после гидростроительства в 1952 году всякое воспроизводство лосося в реке Суна стало невозможным. Кроме гидростроительства катастрофический урон рыбному сообществу реки Суна был нанесен лесосплавом (Смирнов, 2008). В 2004 был восстановлен участок реки ниже водопада Кивач в качестве нересто-выростного угодья. Ихтиологические съёмки в 2006–2008 гг. показали, что лосось успешно нерестился на восстановленном участке, были обнаружены мальки лосося всех возрастных групп.

Возраст молоди свидетельствует о том, что она произошла от нереста производителей, вернувшихся от первых выпусков молоди (1997, 2000 гг.).

Следует отметить, что за последние три года наблюдается существенный рост численности молоди всех возрастных групп (табл.3). Возрастной состав молоди и рост её численности свидетельствуют о том, что на рекультивированном НВУ возобновилось стабильное естественное воспроизводство лосося.

Таблица 3

**Плотность расселения молоди лосося на восстановленном НВУ под водопадом Кивач (экз/100 м<sup>2</sup>) (Щуров и др., 2008)**

Год	Плотность по возрастным группам		
	0+	1+ и старше	Общая
2006	11,6	10,2	21,8
2007	75,4	33,0	108,4
2008	197,5	42,5	240,0

**Река Кумса.** Общая протяжённость реки 60,2 км. Основные нерестилища расположены компактной группой на протяжении 15 км от устья реки. Потенциальные нерестилища имеются и выше – до 37 км от устья (Смирнов, 1971). Плотности молоди на НВУ и ее возрастной состав остаются стабильными на протяжении последних 15 лет. Так, средняя многолетняя общая плотность молоди лосося в этот период составляла 76,9 экз/100 м<sup>2</sup>, при колебаниях от 34,6 до 98,4 экз/100 м<sup>2</sup>.

**Река Лижма.** Общая протяженность реки 68,3 км. Верхний участок Лижмы от истока до озера Лижмозера имеет протяженность 12 км. Общая протяженность НВУ лосося составляет 3,4 км, площадь 13600 м<sup>2</sup>. Протяженность Средней Лижмы – 12,2 км. Количество порогов невелико. Площадь НВУ не превышает 4000 м<sup>2</sup>. Нижняя Лижма длиной около 4 км. Участок реки между озерами Кедрозеро и Тарасмозеро имеет длину 800 м и на всем протяжении представлен порогом. Площадь НВУ лосося здесь составляет около 20000 м<sup>2</sup>. Ниже Тарасмозера имеется три порога, Площадь НВУ – 18000 м<sup>2</sup>. Общая площадь НВУ реки составляет 55600 м<sup>2</sup>, из них действующих 38000 м<sup>2</sup>.

Ранее р. Лижма считалась одной из самых продуктивных лососевых рек. Так, вылов лосося в р. Лижме в 1916 году составлял около 2000 шт. (Петров, 1926). В 70-е годы численность нерестового стада оценивалась в 200 экз. (Смирнов, 1971), такой же она оставалась до 90-х годов. В последние годы браконьерство в реке достигло таких масштабов, что лишь единичные экземпляры успевают отнереститься. За период 1987–2001 гг. численность молоди сократилась более чем в 10 раз. На нижних порогах реки в 2007 г. не было зафиксировано ни одного сеголетка лосося на этом участке. Это говорит о том, что в 2006 г. лосось не смог отнереститься на нижних порогах. В 2008 году был обследован порог на Верхней Лижме, где была обнаружена молодь лосося, но только одной возрастной группы – 2+. Можно полагать, что осенью 2005 года сложились достаточно благоприятные условия для успешного нереста лосося. Молодь генерации этого года и была нами обнаружена. Тем не менее, все эти данные свидетельствуют о том, что воспроизводство лосося в реке Лижма на протяжении последних лет крайне нестабильно.

**Река Водла.** Основные нерестово-выростные участки расположены в притоках реки, в первую очередь в реке Вама. Протяженность реки – 23,4 км. В истоке реки имеется плотина, деятельность которой нередко приводит к значительному обсыханию нерестилищ и промерзанию нерестовых бугров лосося в реке, высокой смертности икры и молоди за время зимовки. На протяжении четырех километров от плотины вниз по реке нами не отмечено молоди лосося, несмотря на наличие подходящих для нереста мест. Первые сеголетки лосося отмечены только на пороге Островец, в крайне незначительных количествах (плотность 10 экз/100 м<sup>2</sup>). В самой реке Водла нерестовых площадей лосося мало, за исключением небольшого участка ниже впадения р. Вама. Гораздо более благоприятная ситуация для молоди сложилась в реке Колоде – незначительном по величине, но достаточно протяженном (110 км.) притоке р. Водла. Сеголетки лосося равномерно расселены по всем порогам, их плотность составила 40 экз/100 м<sup>2</sup>. На значительном протяжении реки имеются нерестовые грунты, занимающие до 100% площади дна. Таким образом, нерестово-выростной фонд лосося реки Водла в целом составляет 368650 м<sup>2</sup>, из них: река Вама – 162650 м<sup>2</sup>, река Колода – 100000 м<sup>2</sup>, река Водла – 109000 м<sup>2</sup>.

### Заключение

В настоящее время нерестово-выростной потенциал лосося в притоках Онежского озера составляет около 223 га, который используется лососем не более чем на 15–20%. Более или менее устойчивое естественное воспроизводство сохранилось лишь в реках Шуя и Кумса. Очевидно, что численность нерестовых стад во всех реках намного ниже потенциально возможной. Это хорошо иллюстрируется тем, что численность молоди на НВУ рек снизилась за последние 20 лет более чем в 10 раз. По нашим оценкам общая продуктивность всех нерестовых притоков Онежского озера в период 1950–1960 год составляла 65–70 тыс. шт. покатной молоди ежегодно (расчеты по литературным данным). В последние годы эта величина не превышает 15–20 тыс.

Начиная с 1977г., на базе шуйского стада осуществляется искусственное воспроизводство лосося. Основная масса мальков выпускается в реку Шуя. Благодаря улучшению биотехники заводского выращивания и способа выпуска покатников в реки (живорыбной машиной), эффективность заводского воспроизводства за последние годы возросла весьма значительно. Это привело к суще-

ственному увеличению численности нагульного лосося в Онежском озере, что было основанием вывода шуйского стада из Красной книги РФ в 2005 г.

По нашим данным частота встречаемости в контрольных уловах лосося разного возраста в Онежском озере зависит от численности определенной возрастной группы, которая в свою очередь зависит от количества выпускаемой «заводской» молоди.

Так, незначительный (по сравнению с другими годами) выпуск 2003 года (около 28 тыс. шт.) существенно сказался на численности лосося первого года нагула (0+) в том же 2003 году, и численности лосося в возрасте 1+ и 2+ в 2004 и 2005 годах соответственно. Значительный выпуск 2002 года (около 158,7 тыс. шт.) положительно сказался на численности лосося первого года нагула (0+), численности возрастной группы 1+ в 2003 году и особенно ярко проявился в уловах лосося в возрасте 2+ и 3+ в 2004–2005 годах соответственно. Так же большое количество молоди, выпущенной в 2004 году, определило высокую численность рыб в возрасте 2+ в уловах 2006 года и рыб возраста 3+ – в уловах 2007 года.

Соотношение «диких-заводских» особей среди нагульного лосося представлено в таблице 4.

Таблица 4

**Соотношение (%) лосося различного происхождения в контрольных уловах**

Год	«Заводские»	«Дикие»	
		Шуйский лосось	Лосось других рек
2002	57,3	39	3,7
2003	67,6	25	7,4
2004	69,5	17	13,5
2005	60,5	25	14
2006	51,8	35,9	12,3
2007	70,3	22,5	7,2

Таким образом, главным фактором, определяющим численность лосося в Онежском озере, является выпуск «заводской» молоди. Как показывают наши исследования, естественное воспроизводство давно не играет существенной роли в формировании численности нагульного лосося в Онежском озере. В настоящее время в акватории Онежского озера продолжают доминировать особи «заводского» происхождения.

Тем не менее, стоит отметить, что во всех обследованных притоках (Лижма, Кумса, Пяльма, Туба, Филиппа, Немина и др.) в 2008 г. наблюдалось незначительное увеличение численности молоди лосося и озерной форели на НВУ.

### Литература

- Биоресурсы Онежского озера 2008. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 272 с.
- Зборовская М. Б. 1935. Материалы по промыслу и биологии лосося Онежского озера. Тр. Карельск. н.-и. рыбохоз. ст., т. I Л.:, с. 257–280
- Отчет СевНИИРХ за 2000 г. 42 с.
- Петров В.В. 1926. Современное состояние Онежского рыболовства // Изв. отд. приклад. Ихтиологии. Л., Т. IV. Вып. 1.
- Пушкарёв Н.Н. 1900. Рыболовство на Онежском озере // Отч. Мин. земледелия и гос. имущества. СПб., 260 с.
- Смирнов Ю.А. 1971. Лосось Онежского озера. Л.: Наука, 141 с.
- Смирнов Ю.А. 2008. Справка к истории починки нерестово-выростных угодий лосося (*Salmon salar* L) в останце реки Суна. // Тр. Государственного природного заповедника «Кивач», вып. 4, Петрозаводск с. 150–153.
- Щуров И.Л., Широков В.А., Тыркин И.А., Шульман Б.С. 2008. Результаты рекультивации нерестилища лосося в реке Суна. // Тр. Государственного природного заповедника «Кивач», вып. 4, Петрозаводск с. 154–155.
- Zippin C. 1956. An evaluation of removal method of estimating animal populations.- Biometrics. vol.12,p.163–169

# ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА АКТИВНОСТЬ ПРОТЕИНАЗ СЛИЗИСТОЙ ОБОЛОЧКИ КИШЕЧНИКА ЛЕЩА (*ABRAMIS BRAMA*) РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Н.В. Ушакова<sup>1</sup>, В.В. Кузьмина<sup>1</sup>, О.П. Лупилов<sup>2</sup>, В.А. Шептицкий<sup>2</sup>

Учреждение Российской академии наук Институт биологии внутренних вод

им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Ярославская обл., Россия

Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко,

г. Тирасполь, Молдова

e-mail: koryukaevan@ibiw.yaroslavl.ru

## Введение

В последние годы особое внимание уделяется антропогенному воздействию на водные экосистемы. Выявлены факторы, влияющие на состояние гидробионтов (Toxicology of fishes, 2008). Поскольку энтеральная среда рыб является частью внешней среды (Thomas, 1964), можно ожидать, что усиление антропогенного пресса должно отражаться на состоянии ферментных систем пищеварительного тракта рыб. Действительно, в экспериментальных условиях было показано, что тяжелые металлы значительно снижают уровень активности гликозидаз и протеиназ слизистой оболочки кишечника рыб (Kuz'mina et al., 1999; Golovanova et al., 1999; Кузьмина, Ушакова, 2007а). Вместе с тем токсические вещества органической природы (дихлофос и нафталин) не всегда снижают активность пищеварительных гидролаз (Kuz'mina et al., 1999; Golovanova et al., 1999). Состояние ферментных систем пищеварительного тракта рыб, обитающих в различных участках Рыбинского водохранилища после аварии на Череповецком металлургическом комбинате, произошедшей в конце 1986 г. (Флеров, 1990), ранее не оценивалось. Вместе с тем данные, касающиеся активности пищеварительных ферментов, особенно протеиназ, важны для как оценки начальных этапов ассимиляции пищи отдельными особями, так и для оценки состояния кормовой базы биотопов и условий питания рыб. Цель работы состояла в изучении активности протеиназ слизистой оболочки кишечника леща, обитающего в различных участках Рыбинского водохранилища, в разной степени подверженных антропогенному прессу.

## Материалы и методы

Работа проведена 2008–2009 гг. Объект исследования: лещ *Abramis brama* (L.) массой  $889 \pm 48$  г. Материал отбирали в августе 2008 на 5 станциях, расположенных в разных плесах (Коприно и Волково – Волжский, Первомайка – Моложский, Мякса и Любец – Шекснинский плес). Кишечники рыб, отловленных донным тралом, сразу изымались и замораживались. В лаборатории после разморозки кишечника на холоду изымали содержимое. Специальным скребком снимали слизистую оболочку кишечника и индивидуально гомогенизировали ее при помощи стеклянного гомогенизатора, добавляя охлажденный до 2–4°C раствор Рингера для холоднокровных животных (109 mM NaCl, 1.9 mM KCl, 1.1 mM CaCl<sub>2</sub>) в соотношении 1:99. Определяли активность протеиназ слизистой оболочки кишечника при температуре 20°C и pH 7.4, в качестве субстрата использовали 1% раствор казеина (преимущественно трипсин КФ 3.4.21.1). Для изучения температурных характеристик протеиназ готовили суммарные пробы, включающие материал от 10 экз. рыб (7 экз. на станции Любец). Изучение температурных характеристик ферментов леща проводилось в широком диапазоне значений температуры (0–70°C). Активность протеиназ определяли по приросту тирозина методом Ансона (Anson, 1938) в некоторой модификации. Инкубацию субстрата и ферментативно активного препарата проводили в течение 30 мин. Количество продуктов реакции (преимущественно тирозин) определяли при помощи фотоэлектроколориметра КФК-2 (длина волны 670 нм). Ферментативную активность определяли в 4-х повторностях для каждой точки с учетом фона и выражали в мкмоль/(г·мин). Энергию активации ( $E_{акт}$ ) рассчитывали графическим методом Аррениуса. Данные обрабатывали статистически с использованием приложения EXCEL программы MS Office'XP. Достоверность результатов оценивали по Стьюденту при уровне значимости  $p \leq 0.05$ .

## Результаты и обсуждение

Сопоставление активности протеиназ пищеварительного тракта леща, отловленного в разных районах Рыбинского водохранилища, показало, что уровень ферментативной активно-



сти у рыб из Шекснинского плеса достоверно отличается от такового трех других точек (рис. 1). Максимальные значения активности протеиназ отмечены у леща на ст. Любец ( $4.56 \pm 0.13$  мкмоль/(г·мин)), минимальные – на ст. Мякса ( $2.62 \pm 0.12$  мкмоль/(г·мин)), при этом активность на первой станции в 1.7 раза выше ( $p < 0.001$ ), чем на второй. На станциях Моложского и Волжского плесов уровень активности протеиназ близок –  $3.46 \pm 0.28$ ,  $3.78 \pm 0.15$  и  $3.26 \pm 0.09$  мкмоль/(г·мин) на ст. Коприно, Волково и Первомайка соответственно. При этом максимальная амплитуда колебаний значений активности протеиназ у особей леща из одной и той же выборки зафиксирована на ст. Коприно (12 раз), минимальная – на ст. Любец (1.4 раза). На остальных станциях амплитуда колебаний значений активности протеиназ составляет 1.7–2.4 раза.

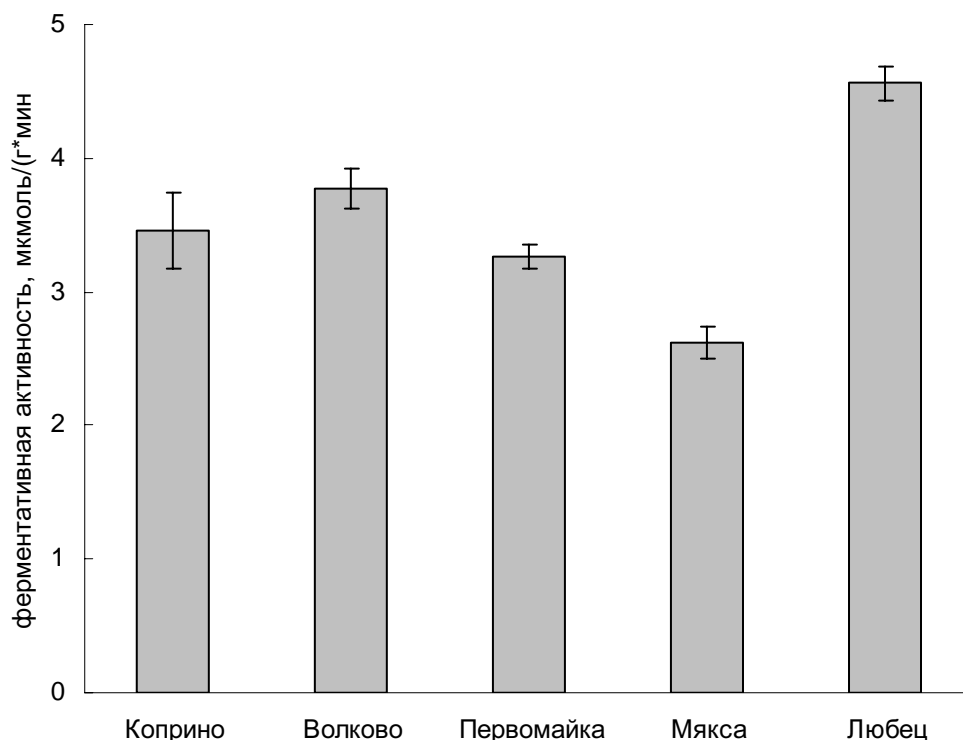


Рис. 1. Активность протеиназ слизистой оболочки кишечника леща из разных участков Рыбинского водохранилища.

Ранее исследование активности протеиназ пищеварительного тракта леща в разных районах Рыбинского водохранилища не проводилось. Вместе с тем, есть сведения об уровне протеолитической активности слизистой оболочки кишечника леща, отловленного в Волжском плесе Рыбинского водохранилища. Определения показали, что данные, полученные при исследовании леща из этого плеса (ст. Коприно), сопоставимы с результатами, полученными ранее для леща, отловленного в районе пос. Борок, находящегося вблизи ст. Коприно (Кузьмина и др., 2005; Кузьмина, Ушакова, 2007а). Однако, ранее было показано, что активность гликозидаз слизистой оболочки кишечника леща Северошекснинского плеса выше по сравнению с таковым Южношекснинского и Волжского плесов (Кузьмина, 1983). Возможно, несколько большая активность протеиназ в наиболее загрязненном районе Рыбинского водохранилища (вблизи г. Череповец) связана с изменением состава кормовой базы, спектра питания и биохимического состава гидробионтов. Действительно, отмечено значительное влияние загрязняющих веществ, поступающих в Шекснинский плес Рыбинского водохранилища со стоками Череповецкого металлургического комбината, на видовой состав и численность гидробионтов. Количество видов коловраток уменьшилось от 30 до 5–7, разнообразие зоопланктона снизилось до 10–22% от общего списка видов, встречающихся выше города. Из планктона выпали обитатели чистых вод, такие как *Limnoscira*, *Heterocope*, *Bythotrephes*, а также крупные босмины и дафнии. В составе бентоса появились олигохеты *Nais communis* и представители рода

*Dero*, увеличилась биомасса полихет *Hypania invalida*, вытесняющих личинки хирономид *Chironomus plumosus* (Ривьер и др., 2001). Изменение состава кормовой базы сопряжено с изменением содержания белка в организме гидробионтов. Ранее было показано, что концентрация белка у предпочитаемых объектов питания значительно варьирует – у представителей зоопланктона – 5.7, у хирономид – 7.2, у олигохеты – 10.4% сырой массы (Остроумова, 2001; Кузьмина, 2005). Кроме того, возможны различия в аминокислотном составе белков, как у разных видов гидробионтов, так и у особей одного и того же вида в зависимости от спектра питания и физиологического состояния, в частности уровня стрессирования (Кузьмина, 2005). Также известно о различиях в активности протеиназ в целом организме потенциальных объектов питания рыб. Так, у представителей зоопланктона активность протеиназ по казеину приблизительно в 7 раз, олигохет в 2 раза выше, чем в целом организме хирономид –  $1.50 \pm 0.04$ ,  $0.48 \pm 0.05$  и  $0.22 \pm 0.01$  мкмоль/(г·мин) соответственно (Кузьмина, Ушакова, 2007б).

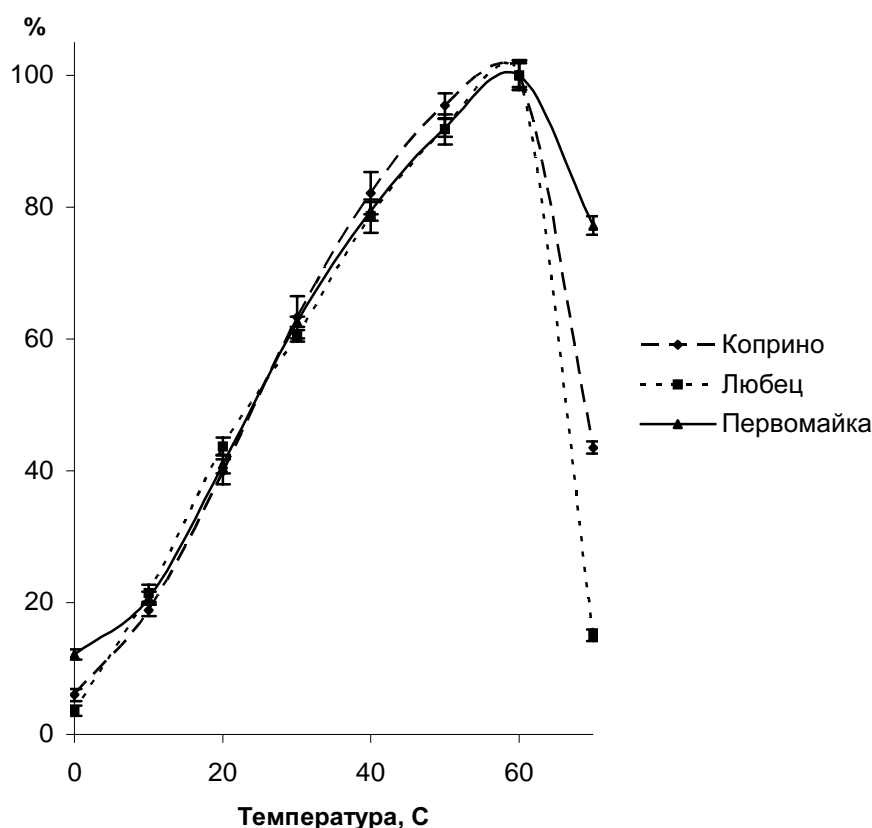


Рис. 2. Температурная зависимость протеиназ слюистой оболочки леща из разных участков Рыбинского водохранилища.

Поскольку ранее было показано, что токсические вещества влияют на температурные характеристики ферментов, представлялось целесообразным сопоставление температурной зависимости и энергии активации ( $E_{\text{акт}}$ ) протеиназ слюистой оболочки кишечника леща из разных мест обитания. Температурная зависимость протеиназ кишечника леща, отловленного на ст. Любец, Первомайка и Коприно (рис. 2), близка описанным ранее для леща из Рыбинского, Горьковского и Саратовского водохранилищ (Кузьмина, 1990). Достоверные различия в уровне активности протеиназ леща из разных участков Рыбинского водохранилища установлены только при температурах 0 и 70°C. Так, при температуре 0°C активность ферментов рыб, отловленных на ст. Первомайка, в 1.9 раза ( $p < 0.05$ ) выше, чем таковая леща со ст. Любец ( $0.62 \pm 0.04$  и  $0.33 \pm 0.07$  мкмоль/(г·мин) соответственно). При этом относительная активность ферментов в первом случае в 3 раза ( $p < 0.001$ ) выше, чем во втором. При температуре 70°C максимальный уровень относительной активности также характерен для ферментов леща со ст. Первомайка (77% от максимальной), несколько ниже – для рыб со ст. Коприно (44% от макси-

мальной), минимальный – для рыб со ст. Любец (15% от максимальной). При этом значения абсолютной активности протеиназ кишечника леща со ст. Любец в 2 раза ниже таковой протеиназ рыб со ст. Первомайка и Коприно ( $1.37 \pm 0.08$ ,  $3.96 \pm 0.07$  и  $3.93 \pm 0.08$  мкмоль/(г·мин) соответственно). Полученные данные свидетельствуют о значительном сходстве кривых температурной зависимости протеиназ рыб из разных районов Рыбинского водохранилища и меньшей термостабильности ферментов леща, отловленного на ст. Любец. Последнее может указывать на то, что повреждающие факторы не оказывают значительного влияние на  $t^\circ$ -функцию протеиназ и действуют лишь за пределами оптимальных значений температуры. Возможно, это связано с недостаточной концентрацией токсических веществ в пище рыб. Ранее было показано, что стрессирование формалином (18 мг/л) эмбрионов плотвы *Rutilus rutilus* на стадии активации яйца и образования бластодиска вызывает смещение оптимума щелочной фосфатазы от 50°C (в контроле) до 40°C, а также сужение зоны оптимальных значений температуры и уменьшение термостабильности ферментов (Кузьмина, Таликина, 1998). Аналогичные явления были обнаружены при воздействии в условиях *in vitro* биогенных металлов (цинк, медь) в концентрации 10 мг/л на активность протеиназ пищеварительного тракта и целого организма тюльки *Clupeonella cultriventris* (Кузьмина, Ушакова, 2008).

Сопоставление величин  $E_{акт}$  протеиназ слизистой оболочки кишечника леща из разных участков Рыбинского водохранилища в диапазоне температур жизнедеятельности позволило выявить их существенные различия (табл. 1). Действительно, у леща, отловленного в наиболее чистом участке водохранилища (ст. Первомайка) не выявлен излом на графике Аррениуса, на более загрязненном участке (ст. Коприно) – один излом, на максимально загрязненном (ст. Любец) – два излома. При этом в зоне низких (0–10°C) и более высоких (10–20°C) температур величины  $E_{акт}$  протеиназ леща, отловленного на ст. Первомайка, минимальны, на ст. Любец – максимальны. В зоне низких температур величина показателя различается в 3 раза, в зоне более высоких температур – лишь в 1.3 раза. Эти данные свидетельствуют о том, что у рыб, обитающих в Северошекснинском плесе эффективность гидролиза белковых компонентов пищи наиболее значительно ухудшается в зоне низких температур. Полученные результаты хорошо согласуются с имеющимися сведениями. Так, было показано, что величины  $E_{акт}$  трипсинподобных протеиназ тюльки в присутствии металлов (цинк и медь в концентрации 10 мг/л) в зоне 0–10°C увеличиваются приблизительно в 2 раза, в зоне более высоких температур – в пределах 1.5 раз (Кузьмина, Ушакова, 2008).

Таблица 1

**Энергия активации протеиназ слизистой оболочки кишечника леща Рыбинского водохранилища в диапазоне температур жизнедеятельности**

Станция	Энергия активации, ккал/моль		Температура точки перегиба
	до точки перегиба	после точки перегиба	
Коприно	17.65	10.38	10
Первомайка	9.04	9.04	–
Любец	27.18	11.75/5.46	10 и 20

**Выводы**

Активность протеиназ слизистой оболочки кишечника леща, отловленного в разных участках Рыбинского водохранилища, различна. Уровень ферментативной активности максимален у рыб, обитающих в наиболее загрязненном участке водохранилища (ст. Любец). Кривые температурной зависимости протеиназ слизистой оболочки кишечника леща из разных мест обитания достаточно близки (температурный оптимум соответствует 60°C) и различаются лишь в зоне низких и постмаксимальных значений температур. Наиболее существенные различия выявлены при вычислении энергии активации протеиназ леща. Минимальные величины  $E_{акт}$  во всем диапазоне температур жизнедеятельности обнаружены у рыб, обитающих в районе наименее загрязненной ст. Первомайка, максимальные – в районе наиболее загрязненной ст. Любец.

## Литература

- Кузьмина В.В., Шишин М.М., Корюкаева Н.В., Наумова М.А., Ботяжова О.А., 2005. Влияние цинка и меди на активность протеиназ пищеварительного тракта у ряда видов пресноводных костистых рыб // Биол. внутр. вод. №4. С. 102–109.
- Кузьмина В.В., 1983. Активность  $\alpha$ -амилазы в пищеварительном тракте и крови леща // Биол. внутр. вод. №59. 58–60.
- Кузьмина В.В., 1990. Влияние температуры на уровень общей протеолитической активности пищеварительного тракта некоторых видов пресноводных костистых рыб // Вопр. ихтиол. Т.30. №4. С. 668–677.
- Кузьмина В.В., Таликина М.Г., 1998. Влияние экстремальных воздействий в период раннего индивидуального развития на пищеварительные гидролазы сеголеток плотвы *Rutilus rutilus* // Вопр. ихтиол. Т.38. №4. С. 524–529.
- Кузьмина В.В., 2005. Физиолого-биохимические основы экзотрофии рыб. М.: Наука. 300 с.
- Кузьмина В.В., Ушакова Н.В., 2007а. Влияние температуры, pH и тяжелых металлов на активность протеиназ слизистой оболочки пищеварительного тракта рыб бенто- и планктофагов // Биол. внутр. вод. №4. С. 88–96.
- Кузьмина В.В., Ушакова Н.В., 2007б. Активность протеиназ у беспозвоночных животных – потенциальных объектов питания рыб. Влияние температуры, pH и тяжелых металлов // Ж. эвол. биохим. физиол. Т.43. №5. С. 404–409.
- Кузьмина В.В., Ушакова Н.В., 2008. Влияние тяжелых металлов (цинк, медь) на температурные характеристики протеиназ пищеварительного тракта тюльки *Clupeonella cultriventris* (Nordmann) // Матер. Всерос. конф.: «Организмы, популяции, экосистемы: проблемы и пути сохранения биоразнообразия». Вологда. С. 59–62.
- Остроумова И.Н., 2001. Биологические основы кормления рыб. СПб.: ГосНИОРХ. 372с.
- Ривьер И.К., Гусаков В.А., Жгарева Н.Н. и др., 2001. Изменение структурно-функциональных характеристик биологических сообществ. Загрязнение // Экологические проблемы Верхней Волги. / Ред. А.И. Копылов. Ярославль: ИБВВ РАН. С. 285–289.
- Флеров Б.А., 1990. Экологическая обстановка на Рыбинском водохранилище в результате аварии на очистных сооружениях г. Череповца в 1987 г. // Влияние стоков Череповецкого промышленного узла а экологическое состояние Рыбинского водохранилища. Рыбинск: ИБВВ. С. 3–11.
- Anson M., 1938. The estimation of pepsin, trypsin, papain and cathepsin with hemoglobin // J. Gen. Physiol. V. 22. P. 79–83.
- Golovanova I.L., Kuz'mina V.V., Gobzhelien T.E. et al., 1999. In vitro effects of cadmium and DDVP (Dichlorvos) on intestinal carbohydrase and protease activities in freshwater teleosts // Compar. Biochem. Physiol. V. 122C. P. 21–25.
- Kuz'mina V.V., Chuiko G. M., Pavlov D. F., 1999. Effect of DDVP, Naphtalene, and Cadmium on Intestinal Proteolytic Activity in Mozambique Tilapia (*Oreochromis mossambicus* Peters) // Bull. Environ. Contam. Toxicol. V.62. № 2. P. 193–198.
- Thomas J.E., 1964. Organ systems in adaptation. The digestive system // Handbook of physiology. Washington. Sec. 4. Ch. 12. P. 193–214.
- Toxicology of fishes, 2008. / Eds. R.T. Di Giulio, D.E. Hinton. Boca Raton, London, New York: CRC Press, Taylor and Francis Group. 1072 p.

## INFLUENCE OF ANTHROPOGENIC IMPACT ON INTESTINAL MUCOSA PROTEINASE ACTIVITY IN BREAM *ABRAMIS BRAMA* FROM RYBINSK RESERVOIR

N.V. Ushakova<sup>1</sup>, V.V. Kuzmina<sup>1</sup>, O.P. Lupilov<sup>2</sup>, V.A. Sheptitskiy<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Papanin Institute for Biology of Inland Waters of Russian Academy of Science, Borok, Yaroslavl reg., Russia

<sup>2</sup> Shevchenko Pridnestrovskiy State University, Tiraspol, Moldova

It was shown, that intestinal mucosa proteinase activity in bream from different sites of Rybinsk reservoir is various. The level of enzyme activity is maximal in fish inhabiting in the most polluted site of this water basin (Lubetz). Curves of temperature dependence of intestinal mucosa proteinase in bream from different locations are close enough (temperature optimum corresponds to 60°C); the differences are found in a zone of low and postmaximal values of temperatures only. The most essential distinctions of temperature characteristics are revealed at calculation energy of activation of proteinase ( $E_{act}$ ). Minimal values of  $E_{act}$  in all range of living temperatures are found in fish inhabiting in the least polluted area (Pervomaika), maximal – in the most polluted area (Lubetz). These data testify to significant influence of pollution on energy characteristics of the enzymes providing hydrolysis of protein components of fish food.

# ОСОБЕННОСТИ ТРАНСКАПИЛЛЯРНОГО ОБМЕНА БЕЛКОВ ПЛАЗМЫ КРОВИ У ПРЭСНОВОДНЫХ КОСТНЫХ РЫБ

Р.А. Федоров, А.М. Андреева

Учреждение Российской академии наук Институт биологии внутренних вод  
им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Ярославская обл., Россия  
e-mail: aam@ibiw.yaroslavl.ru

Белки плазмы крови играют решающее значение для регуляции распределения внеклеточной жидкости между внутри- и внесосудистым отделами жидкой среды организма. Фильтрационно-реабсорбционная гипотеза Старлинга объясняет перемещение жидкости через стенку капилляра противодействием гидростатического давления крови и онкотического давления, создаваемого белками плазмы крови; и отрицает возможность проникновения белков плазмы крови из сосудистого пространства в тканевое (Шмидт-Ниельсен, 1982; Шульц, Ширмер, 1982). Современные модели, разработанные для высших позвоночных, допускают фильтрацию интраваскулярных белков в тканевое пространство в некоторых отделах микроциркуляторной системы и, как следствие, – существование функциональной разноточности капилляров от абсолютной непроницаемости для белков (капилляры ЦНС) до неограниченной проницаемости (капилляры печени) (Landis, Pappenheimer, 1963). Тканевые жидкости рыб содержат значительные количества белка (Андреева и др., 2007, 2008; Olson et al., 2003; Phillips, 2003), что позволяет предположить отличие механизмов транскапиллярного обмена белков плазмы крови у рыб и высших позвоночных. Целью данной работы является определение концентрации белка, анализ белкового состава и происхождения тканевых жидкостей у костных рыб.

## Материалы и методы

В качестве объектов использовали костистых рыб: леща *Abramis brama* L., плотву *Rutilus rutilus* L., карася серебряного *Carassius auratus* L., карпа обыкновенного *Cyprinus carpio* L., линя *Tinca tinca* L., только черноморско-каспийскую *Clupeonella cultriventris* N., щуку обыкновенную *Esox lucius* L., чехонь *Pelecus cultratus* L. (отловлены в Рыбинском водохранилище); и хрящевых ганоидов: стерлядь *Acipenser ruthenus* L., подращенную в прудах (возраст 3 года). Кроме половозрелых рыб использовали лещей 2<sup>+</sup>, полученных в результате внутривидового группового скрещивания, отсаженных в аквариумы и содержавшихся без пищи в течение нескольких месяцев (до 8 месяцев). Кровь отбирали из хвостовых сосудов в пробирки или пипеткой-дозатором, в работе использовали сыворотку СК и плазму крови ПК. Интерстициальную жидкость ИЖ (перитонеальная ПЖ, мозга ИЖМ, белых мышц ИЖБМ, печени, верхней трети желудочно-кишечного тракта ЖКТ) отбирали с помощью пипеток-дозаторов (перитонеальная, мозга, белых мышц) или (при недостаточном количестве ИЖ печени, ЖКТ, ИЖБМ) напительванием полоски размером 0,5х4,0мм хроматографической бумаги Watmann 3ММ (Андреева и др., 2007, 2008). Концентрацию общего белка в крови и тканевой жидкости определяли микробиуретовым методом (Itzhaki et al., 1964), отдельных белков и фракций – с помощью программного пакета OneDscan. Белки плазмы крови дифференцировали в градиенте концентраций ПААГ (5–40%), в ПААГ с 8М мочевиной и в SDS-ПААГ. Для определения ММ нативных белков в ПААГ использовали маркеры сывороточный альбумин человека САЧ, овальбумин ОА; в SDS-ПААГ – набор PageRuler™ Prestained Protein Ladder Plus (Fermentas). Результаты обрабатывали статистически с помощью программного пакета OneDscan.

## Результаты и обсуждение

Определение концентрации белка в плазме (сыворотке) крови и тканевых жидкостях показало, что все тканевые жидкости содержат меньшие количества белка по сравнению с сывороткой и плазмой крови (Табл.).

Сравнительный анализ концентрации белка в плазме (сыворотке) и тканевых жидкостях выявил динамичность проницаемости стенок капилляров к белкам крови: у разных рыб отношение концентраций белка в СК и ИЖ того или иного типа (например, СК/ПЖ) варьировало не только от вида к виду (Табл.) или в зависимости от условий содержания (Табл., лещ 9 и лещи 10–13), но и внутри однородной выборки (Табл., стерлядь 1–4, лещи 10–13) рыб, содержавшихся в одинаковых условиях. Динамичный характер проницаемости стенок капилляров разного типа к белкам плазмы крови, вероятно, позволяет адаптировать обменные процессы организма к меняющимся условиям внешней и внутренней среды. *in situ*.

### Содержание белка во внеклеточных жидкостях организма рыб

№	Вид рыбы (отдельные особи)	Концентрация белка г% во внеклеточных жидкостях организма					СК
		ПК	СК	ПЖ	ИЖМ	ИЖБМ	ПЖ
1	Стерлядь 3+		2,25	0,5			4,5
2	Стерлядь 3+		2,25	0,45			5,0
3	Стерлядь 3+		4,65	1,3			3,5
4	Стерлядь 3+		4,0	0,9			4,5
5	Линь (половозрелый)		3,25		1,85		
6	Карп (половозрелый)	6,05				4,45	
7	Карп (сеголеток)	4,8				1,9	
8	Карась (половозрелый)		3,26	0,05	1,85		65
9	Лещ 2+ (голодание 8 мес.)		2,0	0,1	1,6	0,1	20
10	Лещ (половозрелый)	6,1	5,7			4,50	
11	Лещ (половозрелый)		5,5	1,5	2,2		3,7
12	Лещ (половозрелый)		4,4	2,0	1,3		2,2
13	Лещ (половозрелый)		3,4		2,6		
14	Плотва (половозрелая)		2,7				
15	Плотва (половозрелая)		3,3	2,0	2,8		1,7
16	Плотва (половозрелая)		2,9	1,5	2,2		1,9

Электрофорез образцов внеклеточных жидкостей у костистых рыб и стерляди показал, что все тканевые жидкости являются филтратами плазмы крови: фракционный состав их белков практически совпадал с таковым у плазмы крови (рис.1), Отличием тканевых жидкостей от плазмы является более высокое относительное содержание в ИЖ низкомолекулярных белков: у сеголетков карпа, например, их относительное содержание в ИЖБМ достигало 61,2%, а в плазме крови – всего 3,9%. В состав низкомолекулярной фракции тканевых жидкостей входят белки с ММ от 20 до 50 kDa, представленные в плазме в следовых количествах (рис.1). В тканевых жидкостях леща, плотвы, тюльки, щуки и чехони среди низкомолекулярных белков в наибольшем количестве присутствует белок с ММ в нативных условиях около 30 kDa и в денатурирующих восстанавливающих условиях около 25 kDa. В наибольшем количестве этот белок присутствует в тканевой жидкости белых мышц (рис.1). У полиплоидных видов (карп, карась) фракция низкомолекулярных белков в ИЖ организована более сложным образом по сравнению с диплоидными видами (рис.1).

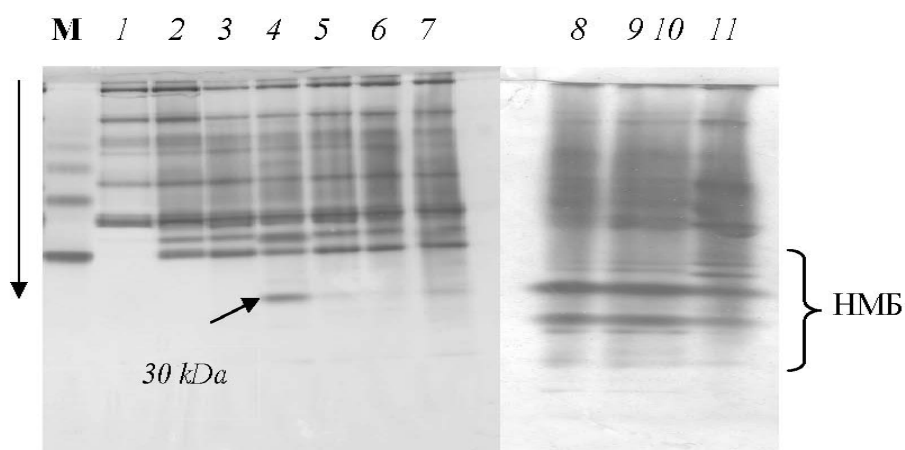


Рис. 1. Электрофорез в градиенте концентраций ПААГ (5–40%) белков лещей 2+ : белки плазмы крови (1), сыворотки крови (2), ИЖ мозга (3), белых мышц (4), перитонеальной жидкости (5), ИЖ печени (6), кишечника (7); и белков ИЖ белых мышц серебряного карася (8–11). Вертикальная стрелка указывает направление электрофореза; М – полимерные формы САЧ; НМБ – низкомолекулярные белки, характерные для интерстициальной жидкости. Маленькая стрелка на рисунке указывает на белок с ММ около 30 kDa (пояснения в тексте).

### Выводы

1. Тканевые жидкости рыб являются филтраатами плазмы крови, по концентрации белка уступающие, а по фракционному составу белков практически совпадающие с ней.
2. Наличие градиента концентрации белка между плазмой крови и тканевой жидкостью, а также разное соотношение высоко- и низкомолекулярных белков в плазме крови и тканевых жидкостях рыб позволяют предположить участие в транскапиллярном обмене белков плазмы крови рыб активных механизмов.
3. Проницаемость стенок капилляров разного типа к белкам плазмы крови имеет динамичный характер, что обеспечивает адаптацию метаболизма рыб к меняющимся условиям внешней и внутренней среды.

### Литература

- Андреева А.М., Чалов Ю.П., Рябцева И.П., 2007. Особенности распределения белков плазмы между специализированными компартментами внутренней среды на примере карпа *Cyprinus carpio* (L.) // Журн. эвол. биох и физиол. Т.43. №6. С.501–504.
- Андреева А.М., Рябцева И.П., Большаков В.В., 2008. Анализ проницаемости капилляров разных отделов микроциркуляторной системы для белков плазмы у некоторых представителей костистых рыб // Журн. эвол. биох и физиол. Т.44. №2. С.212–214.
- Шмидт-Нильсен К., 1982. Физиология животных. Приспособление и среда. М.: Мир, 1982.
- Шульц Г., Ширмер Р., 1982. Принципы структурной организации белков. М.: Мир. 354 с.
- Itzhaki R.F., Gill D.M., 1964. A micro- biuret method for estimating protein // Anal.Biochem. Vol.9. P.401–410.
- Landis E.M., Pappenheimer J.R., 1963. Exchange of substances through the capillary walls // Handbook of Physiology. Circulation. Washington D.C.: Am.Physiol.Soc. Sect.2. Vol.II. P. 961–1034.
- Olson K.R., Kinney D.W., Dombkowski R.A., Duff D.W., 2003. Transvascular and intravascular fluid transport in the rainbow trout: revisiting Starling's forces, the secondary circulation and interstitial compliance // J.Exp.Biol. Vol.206. P.457–467.
- Phillips K., 2003. Trout with tone // J.Exp.Biol. Vol. 206. P. 424–426.

### PECULIARITY OF TRANSCAPILLARY EXCHANGE OF PLASMA PROTEINS FROM FRESHWATER BONY FISHES

R.A. Fedorov, A.M. Andreeva

Papanin Institute for Biology of Internal Waters, Russian Academy of Sciences, Borok, Yaroslavl reg., Russia, e-mail: aam@ibiw.yaroslavl.ru

The study of the special features of the transcapillary exchange of the plasma proteins in the representatives of freshwater bony fishes showed that all tissue fluids of fishes are the filtrates of plasma, on protein concentration being inferior, and by the fractional composition of proteins practically coinciding with it. In all fishes is supported the concentration gradient of the protein between the plasma of the blood and the tissue fluid, and also the different relationship of high- and low-molecular proteins in all extracellular liquids, that they make it possible to assume participation in the transcapillary exchange of the proteins of the plasma of the blood of the fishes of active mechanisms. The results of a study showed that the permeability of the walls of different type capillaries to the plasma proteins has dynamic nature, which ensures the adaptation of the metabolism of fishes to the changing conditions of external and internal medium.

### АНАЛИЗ ПРОНИЦАЕМОСТИ СТЕНОК КАПИЛЛЯРОВ МЫШЕЧНОГО ТИПА ДЛЯ БЕЛКОВ ПЛАЗМЫ КРОВИ У КАРПА *CYPRINUS CARPIO*

Р.А. Федоров, А.М. Андреева

Учреждение Российской академии наук Институт биологии внутренних вод  
им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Ярославская обл., Россия  
e-mail: aam@ibiw.yaroslavl.ru

Изучение состава интерстициальной жидкости организма рыб показало, что она, в отличие от высших позвоночных, содержит значительные количества белка (Андреева и др., 2007,

2008; Olson et al., 2003; Phillips, 2003). Физиологическое значение этой особенности трансапиллярного обмена белков рыб заключается, вероятно, в снижении величины давления крови, а именно – онкотического давления, создаваемого интраваскулярными белками, хотя в качестве основных факторов снижения давления крови у рыб считаются особенности организации сердечно-сосудистой системы и пониженное (по сравнению с высшими позвоночными) содержание общего белка в крови (Шмидт-Нильсен, 1982). Ранее нами было показано, что все тканевые жидкости рыб являются филътратами плазмы крови (Андреева и др., 2007, 2008). Однако, тканевая жидкость белых мышц, будучи также филътратом плазмы крови, резко отличается от остальных тканевых жидкостей по соотношению в ней белков плазмы, что позволяет предположить наличие активных механизмов, поддерживающих градиент концентрации отдельных белков относительно стенки капилляра.

Целью данной работы является анализ проницаемости стенки капилляра мышечного типа для белков плазмы крови карпа.

### Материалы и методы

В качестве объектов использовали сеголетков карпа обыкновенного *Cyprinus carpio* L.. Кровь отбирали пипеткой-дозатором, наконечник которого смочен раствором гепарина. В работе использовали плазму крови ПК. Интерстициальную жидкость белых мышц ИЖБМ отбирали напительванием полоски хроматографической бумаги Watmann 3ММ размером 0,5х4мм (Андреева и др., 2007, 2008). Концентрацию общего белка в плазме крови определяли микробиуретовым методом (Itzhaki et al., 1964), в ИЖ с помощью программного пакета OneDscan (Андреева и др., 2007, 2008). Белки плазмы и ИЖ дифференцировали в градиенте концентраций ПААГ (5–40%), в ПААГ с 8М мочевиной и в SDS-ПААГ (Laemmli, 1970). Для определения ММ нативных белков в ПААГ и денатурированных в ПААГ с 8М мочевиной использовали маркеры сывороточный альбумин человека САЧ (полимерные формы) и овальбумин ОА (полимерные формы); в SDS-ПААГ – набор PageRuler™ Prestained Protein Ladder Plus (Fermentas). Результаты обрабатывали статистически с помощью программного пакета OneDscan.

Для оценки избирательной проницаемости стенки системных капилляров мышечного типа для отдельных белков плазмы крови использовали коэффициент пропускания ( $\gamma$ ), равняющийся отношению концентраций отдельного белка в ИЖ и ПК. При более высоком содержании белка в ИЖ его  $\gamma > 1$ , при превосходящем содержании белка в ПК его  $\gamma < 1$ .

### Результаты и обсуждение

Содержание общего белка в плазме крови сеголетков карпа составило 4,8 г%, в ИЖ белых мышц – 1,9 г% или 40% от концентрации белка в плазме крови. В ИЖ обнаружены практически все белки, присутствующие в ПК, а также ряд низкомолекулярных белков с ММ от 12 до 50 kDa., не содержащихся в ПК или содержащихся в следовых количествах (рис.1). У карпа, как и других костистых рыб, фракционный состав белков ИЖ белых мышц (в отличие от перитонеальной жидкости, тканевых жидкостей мозга и печени) наиболее выражено отличается от ПК особым соотношением белков, а именно, доминированием низкомолекулярных белков (рис.2). Относительное содержание низкомолекулярных белков в ИЖ сеголетка карпа достигало 61,2%, а в ПК – всего 3,9% (рис.2).

Расчет коэффициента пропускания для отдельных белков плазмы крови показал, что наибольшие коэффициенты пропускания имеют два компонента плазмы, имеющие ММ в градиенте ПААГ соответственно 60 и 90 kDa (рис.3). В SDS-электрофорезе ММ этих белков составила около 50 и 67 kDa. Коэффициенты пропускания белков с ММ около 83 kDa (рис.3), имеющих в SDS-электрофорезе ММ около 76 kDa, составили менее 0,3. Коэффициенты пропускания  $\gamma_1$ - и  $\gamma_2$ -глобулинов также не превышали 0,3, хотя ММ  $\gamma$ -глобулинов в градиенте ПААГ составили выше 400 kDa (за счет их агрегации), а в электрофорезе с мочевиной не превышали 180–200 kDa (Андреева, 2001, 2008).



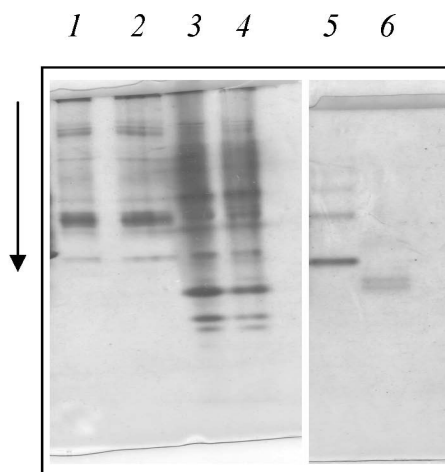


Рис. 1. Электрофорез в градиенте концентраций ПААГ (5-40%) белков плазмы крови (1, 2) и интерстициальной жидкости белых мышц (3, 4) сеголетков карпа. Вертикальная стрелка указывает направление электрофореза. 5 – САЧ, 6 – ОА (обозначения в тексте)

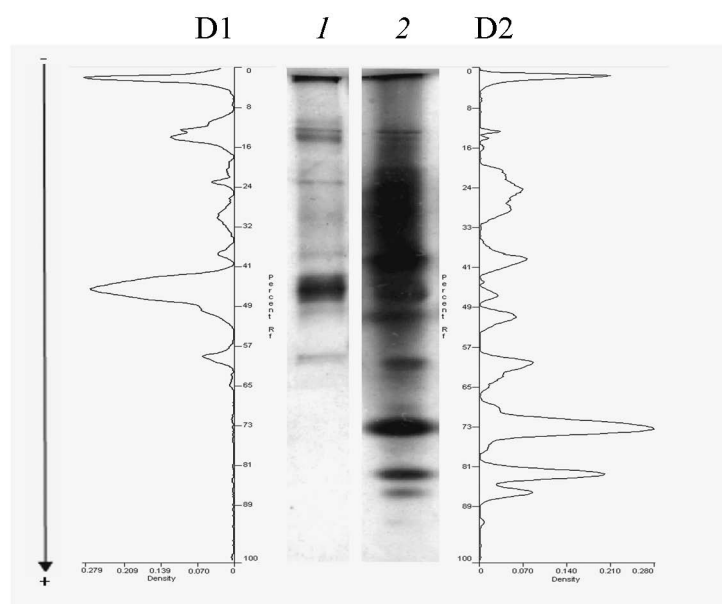


Рис. 2. Электрофорез в градиенте концентраций ПААГ (5–40%) белков плазмы крови (1) и интерстициальной жидкости белых мышц (2) сеголетка карпа. D1 и D2 – денситограммы белков плазмы крови и интерстициальной жидкости соответственно. Вертикальная стрелка указывает направление электрофореза

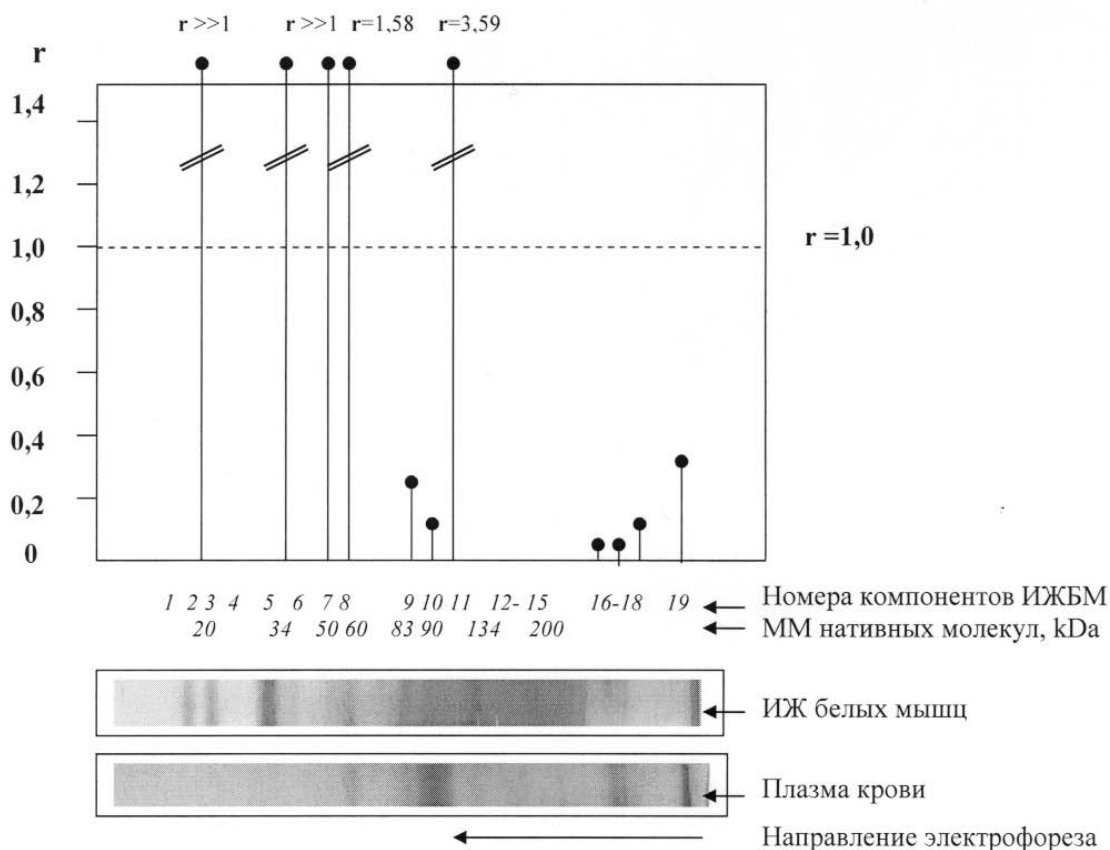


Рис. 3. Коэффициент пропускания  $r$  белков плазмы крови капиллярами мышечного типа для некоторых белков плазмы сеголетка карпа. 1–19 – нумерация белков интерстициальной жидкости ИЖБМ на оси абсцисс и белков плазмы крови на электрофореграмме (градиент концентраций ПААГ 5–40%); 20–200 – величины ММ нативных молекул в  $kDa$ ; 1–8 – низкомолекулярные белки. Стрелка показывает направление электрофореза

Доминирование в ИЖБМ низкомолекулярных белков предполагает действие активных механизмов, поддерживающих градиент концентраций данной фракции относительно стенки капилляра. При этом четкой зависимости величины коэффициента пропускания от величины ММ белка не наблюдалось и, следовательно, стенки капилляров мышечного типа свойств молекулярного сита не проявляют. Проницаемость капилляров мышц для белков плазмы крови носит избирательный характер. Обнаружение избирательной проницаемости капилляров белых мышц для разных белков плазмы крови характеризует транкапиллярный обмен белков как активный транспорт.

### Выводы

1. Стенки капилляров мышечного типа сеголетков леща не проявляют свойств молекулярного сита.
2. Проницаемость системных капилляров мышечного типа сеголетков карпа для отдельных белков плазмы крови носит избирательный характер, что характеризует транкапиллярный обмен белков плазмы как активный процесс.

### Литература

- Андреева А.М., Чалов Ю.П., Рябцева И.П., 2007. Особенности распределения белков плазмы между специализированными компартментами внутренней среды на примере карпа *Cyprinus carpio* (L.) // Журн. эвол. биох и физиол. Т.43. №6. С.501–504.
- Андреева А.М., Рябцева И.П., Большаков В.В., 2008. Анализ проницаемости капилляров разных отделов микроциркуляторной системы для белков плазмы у некоторых представителей костистых рыб // Журн. эвол. биох и физиол. Т.44. №2. С.212–214.
- Шмидт-Ниельсен К., 1982. Физиология животных. Приспособление и среда. М.: Мир.

Itzhaki R.F., Gill D.M., 1964. A micro- biuret method for estimating protein // Anal.Biochem. Vol.9. P.401–410.

Laemmli U.K. 1970. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage // Nature (Gr.Brit.). 4. Vol.227. №5259. P. 680–685.

Olson K.R., Kinney D.W., Dombkowski R.A., Duff D.W., 2003. Transvascular and intravascular fluid transport in the rainbow trout: revisiting Starling's forces, the secondary circulation and interstitial compliance // J.Exp.Biol. Vol.206. P.457–467.

Phillips K., 2003. Trout with tone // J.Exp.Biol. Vol. 206. P. 424–426.

## **THE ANALYSIS OF PENETRATION OF THE CAPILLARY WALL OF MUSCULAR TYPE FOR PLASMA PROTEINS FROM *CYPRINUS CARPIO***

**R.A. Fedorov, A.M. Andreeva**

Papanin Institute for Biology of Internal Waters, Russian Academy of Sciences, Borok, Yaroslavl reg., Russia, e-mail: aam@ibiw.yaroslavl.ru

The permeability of the wall of muscular type capillary for the plasma proteins of the carp *CYPRINUS CARPIO* was studied. Results showed that the tissue fluid of white muscles of carp is the filtrate of the plasma of the blood and contains significant quantities of protein. The tissue fluid of white muscles sharply is differed from other ones (peritoneal, liver fluid, brain fluid) in the relationship of the proteins of plasma, which makes it possible to assume the presence of the active mechanisms, which support the concentration gradient of separate proteins relative to the wall of capillary. The wall of system capillaries of the muscular type do not manifest the properties of the molecular sieve, however, the permeability of capillaries for the separate plasma proteins had selective nature.

## **ПОЛОВАЯ СТРУКТУРА МОРСКОЙ ЗВЕЗДЫ *ASTERIAS RUBENS* L. НА ТЕРРИТОРИИ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ В 2003 ГОДУ**

**О.В. Фомина**

Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск, Россия  
e-mail: ofomina@onego.ru

Летом популяция беломорских *Asterias rubens* концентрируется у 0 глубин, а именно в прибрежной мелководной полосе, включающей часть литорали, обсыхающей до шести часов в сутки и сублитораль до глубины 4–6 м (Безр, 1979). Здесь с июня по сентябрь протекают самые интенсивные составляющие онтогенетических процессов (вегетативные и генеративные части жизненного цикла) этих иглокожих животных – питание, рост, развитие и размножение.

*Asterias rubens* – бореальный вид Белого моря. В основном морские звезды раздельнополы, и только у *Asterias rubens* отмечен гермафродитизм (Retzius, 1911 по Кауфман, 1977). Винберг (1970) полагает, что у молодых особей имеет место смена полов.

Целью настоящей работы явилось исследование и представление полового состава на литорали и верхней сублиторали акватории Кандалакшского государственного природного заповедника в июне-августе 2003 года.

В июне – августе 2003 года половой состав вида на литорали Кандалакшского залива Белого моря представлен в Таблице 1.

Из таблицы 1 и диаграммы 1, видно, что *Asterias rubens* в половом соотношении во всех местах отбора проб преобладают самки, исключение Турий мыс (8) где в процентном соотношении преобладают самцы. По (Винберг, 1970) в случае значительного численного превосходства самок над самцами потомство будет многочисленное, но менее жизнеспособное; а в случае преобладания самцов над самками, вероятнее всего ожидать оплодотворения самок наиболее сильными и жизнеспособными самцами, тогда потомство будет малочисленное, но более жизнеспособное. Вероятней всего, данное превосходство самок *Asterias rubens* над другими группами объясняется периодом нереста, который в Белом море приходится на конец июня – июль, иногда на начало августа, при температуре воды 4 – 9 ° С и солёности 25,7‰. Звезда мигрирует для нереста в верхнюю сублитораль.

Одним из ведущих факторов, индуцирующих нерест, вероятно, является температура воды (Кауфман, 1977). Температура в 2003 году превосходила нормы для нереста, и составила 12 – 18,4°С. Также, считают, что, по-видимому, для самцов сигналом к нересту служит повышение температуры, а для самок – наличие в воде спермы (А.Д. Наумов, 1981).

#### Половой состав *Asterias rubens* в июне – августе 2003 года

Место, дата отбора пробы	Количество особей	самки		самцы		Пол не определён (juv)	
		Количество о	%	Количество	%	Количество	%
о.Ряжков 20.06.03	41	20	48,78	16	39,02	5	12,19
о.Куричек 25.06.03	42	21	50,00	19	45,24	2	4,76
о.Малый Ломнишный 26.06.03	32	21	65,62	10	31,25	1	3,12
Девичьи луды (ламинария) 30.06.03	25	16	64,00	3	12,00	6	24,00
Девичьи луды (литораль) 30.06.03.	25	19	76,00	6	24,00	0	0
о.Овечий 02.08.03.	12	6	50,00	4	33,40	2	16,60
Кордон Лувеньга, 03.08.03.	32	24	75,00	8	25,00	0	0
Турий мыс 26.07.03	32	10	31,25	16	50,00	6	18,75
ИТОГО	241	137	56,84	82	34,02	22	9,13

Диаграмма 1



Таким образом, нельзя оставить не замеченным следующее, в 2003 году в верхней сублиторали района Девичьих луд при температуре воды 14,4 – 16,9 °С, и солёности 20,27 ‰ были замечены 6 больших скоплений морских звёзд *Asterias rubens* со следующим количеством звёзд:

- 1 – 1 м.кв.-54 особи *Asterias rubens*;
- 2 – 1 м.кв.-64 особи *Asterias rubens*;
- 3 – 1 м.кв.-79 особей *Asterias rubens*;
- 4 – 1 м.кв.-21 особь *Asterias rubens*;
- 5 – 1 м.кв.-68 особей *Asterias rubens*;
- 6 – 1 м.кв.-118 особей *Asterias rubens*.

Следует отметить, что на месте скоплений морских звёзд основного объекта питания двустворчатого моллюска *Mytilus edulis* L. не отмечалось, возможно, скопления являются нерестовыми.

Позднее аналогичные скопления морских звезд были обнаружены в верхней сублиторали о. Куричек, с температурой воды 17,8 – 18,2 °С и солёностью 18,31‰. Три крупных скопления с количеством звёзд:

1 – 1м.кв.-32 особи *Asterias rubens*;

2 – 1м.кв.-44 особи *Asterias rubens*;

3 – 1м.кв.-61 особь *Asterias rubens*.

В процессе нереста тело звезды изгибается и приподнимается на лучах (форма „колокольчика») (Кауфман, 1977), что и было прослежено на всех участках скоплений морских звезд.

#### Литература

Безр Т.Л., 1979. Экология морской звезды *Asterias rubens* L. в Белом море: Автореф. канд. дис. М.: 23 с.  
Винберг Т.Л., 1970. О соотношении полов *Asterias rubens* L. // Биология Белого моря (Труды Беломорской биологической станции МГУ). Т.3. С. 88 – 90.

Кауфман З.С., 1977. Особенности половых циклов беломорских беспозвоночных как адаптация к существованию в условиях высоких широт: морфоэкологические и эволюционные аспекты проблемы. Л.: Наука. 264 с.

Наумов А.Д., Оленев А.В., 1981. Зоологические экскурсии на Белом море. Л.: ЛГУ. 175 с.

### ФИТОПЛАНКТОН СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ВЫГОЗЕРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА (РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ)

Т.А. Чекрыжева

Учреждение Российской академии наук Институт водных проблем Севера

Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск, Россия

e-mail: Tchekryzheva@mail.ru

#### Введение

Различные отрасли лесопромышленного комплекса Республики Карелия оказывают негативное влияние на окружающую среду. Целлюлозно-бумажная промышленность, являясь одной из наиболее водоемких отраслей народного хозяйства, оказывает наиболее сильное негативное воздействие на водные экосистемы.

Основным источником загрязнения озера Выгозеро, преобразованного, в связи со строительством Беломорско-Балтийского водного пути (ББВП), в водохранилище (1932–1933 гг.), является Сегежский целлюлозно-бумажный комбинат (ЦБК), начало функционирования которого приходится на конец 1930-х годов прошлого столетия. До ввода в эксплуатацию станции биологической очистки (СБО) сточные воды комбината через Лайкоручей, впадающий в реку Сегежу, поступали в Выгозерское водохранилище. С началом функционирования СБО (1976 г.) выпуск обогащенных биогенными элементами сточных вод комбината, осуществляется в Мозог-губу водоема. Если в начальный период функционирования ЦБК опасности эвтрофирования водоема не существовало (Харкевич, 1969, 1978) и озерная экосистема подвергалась воздействию, в основном, высоких концентраций токсических веществ, образующихся при сульфатном способе варки целлюлозы, то в последующий, после введения СБО, период, происходит антропогенное эвтрофирование северного района водохранилища (Лозовик, 1998), обусловленное, высокими концентрациями биогенных элементов, главным образом, фосфора, в сточных водах предприятия.

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, в рамках программы мониторинга поверхностных водных объектов Республики Карелия, в течение длительного времени осуществляет комплексные экологические наблюдения на Выгозерском водохранилище (Современное состояние водных объектов ..., 1998; Состояние водных объектов ..., 2007). Большое внимание уделяется исследованию биоценозов, в том числе и альгоценозов, поскольку их состояние наилучшим образом отражает экологическую ситуацию в водоеме, сложившуюся в результате воздействия сточных вод Сегежского ЦБК.

#### Материал и методы исследования

Материалом послужили данные собственных наблюдений 2001, 2007, 2008 гг., а также архивные и литературные сведения о фитопланктоне за 1969–1999 гг. Обработку проб фитопланктона,

отобранных в различных районах северной части Выгозерского водохранилища (Северное Выгозеро), осуществляли используя общепринятые в гидробиологической практике методы (Кузьмин, 1975, 1984; Федоров, 1979; Tikkanen, 1986). Эколого-географические характеристики отдельных видов водорослей устанавливали в соответствии с методами и шкалами (Прошкина-Лавренко, 1953; Давыдова 1985; Барина и др., 2006).

Качество (степень сапробности) воды определяли, используя индикаторные виды фитопланктона по Пантле-Букку в модификации Сладечека (Макрушин, 1974; Sladecsek, 1973) и в соответствии с эколого-санитарными классификациями поверхностных вод суши (Оксиюк, Жукинский, 1983; Руководство по методам..., 1983).

### Результаты и обсуждение

Первые краткие сведения об альгофлоре оз. Выгозера относятся к началу прошлого столетия (Свиренко, 1915). Дальнейшие исследования фитопланктона Выгозерского водохранилища охватывают период с 1969г. по настоящее время (Вислянская, 1978, 1998; Вислянская, Харкевич, 1985; Вислянская, Чекрыжева, 2007; Лозовик, 1998; Изменение режима ..., 1989).

Цель работы заключалась в том, чтобы на основании обобщения результатов многолетних исследований (1969–2008гг.) фитопланктона северной части Выгозерского водохранилища, выявить эколого-флористический состав и особенности структуры и количественного развития планктонных сообществ, испытывающих в течение длительного периода воздействие сточных вод Сегежского ЦБК.

В фитопланктоне Выгозерского водохранилища за весь период наблюдений выявлено 264 таксона планктонных водорослей из 8 систематических отделов: Bacillariophyta – 122 таксона, Chlorophyta – 86, Chrysophyta – 25, Dinophyta – 11, Cyanophyta – 11, Euglenophyta – 5, Cryptophyta – 2, Xanthophyta – 2 таксона. Таксономически наиболее разнообразны диатомовые, доля которых от общего числа всех найденных видов составляла 45%, зеленые (32%) и золотистые (9%) водоросли. Соотношение крупных таксономических групп водорослей настоящего времени сходно с наблюдавшимися в предыдущий период исследований (Вислянская, 1978, 1998; Вислянская, Чекрыжева, 2007).

Анализ экологических характеристик видов фитопланктона Выгозерского водохранилища, выполненный за длительный период наблюдений, обнаружил их типичность для водоемов севера Европейской части России. Для альгофлоры водохранилища характерно преобладание космополитных форм при наличии в ее составе бореальных и арктоальпийских видов. Большинство видов по характеру местообитания относится к планктонным формам, обитателей бентоса и обрастаний значительно меньше.

По отношению к рН среды преобладают виды–индефференты (64%) при существенной доле алкалофильных (23%) и ацидофильных (13%) форм. Согласно шкалам галобности по отношению к минерализации, помимо большого количества видов–индефферентов (72%), разнообразно представлены галофобы (20%) и галофилы (8%).

Доля видов-индикаторов сапробности достигала 57% от всего состава обнаруженных водорослей. Большинство из них (60%) относились к олигосапробным (25%), олиго-β-мезосапробным (20%) и β-мезосапробным формам (42%). Среди показателей высокой степени сапробности (9%) присутствуют β-α-мезосапробные (*Ankistrodesmus pseudomirabilis* Korschik., *Euglena acus* Ehr.), α-мезосапробные (*Nitzschia acicularis* (Kütz.), *Oscillatoria planctonica* Wolosz., *Oscillatoria sancta* (Kütz.) Gom., *Oscillatoria tenuis* Ag.) и ρ-α-сапробные виды (*Euglena viridis* Ehr.), развивающиеся в озерах, испытывающих влияние органического загрязнения. Ксеносапробы, являющиеся показателями очень чистых вод, малочисленны (4%).

Сапробиологическое состояние вод Северного Выгозера соответствовало олиго-β-мезосапробной зоне (индекс сапробности 1,40–2,42), или II–III классу качества вод с умеренным содержанием органических веществ.

Для зимнего (март–апрель 1972г.) фитопланктона северной части Выгозера характерны невысокие величины численности и биомассы, соответственно, 9–130 тыс. кл./л и 0,01–0,40 г/м<sup>3</sup> (Вислянская, 1978; Вислянская, Чекрыжева, 1998). В планктоне доминировали диатомовые (*Aulacoseira islandica* (O. Müll.) Simonsen) и динофитовые (*Peridinium aciculiferum* Lemm.) водоросли, создававшие до 80% биомассы фитопланктона. По всей акватории Северного Выгозера отмечались вольвок-

совые водоросли с максимумом биомассы (80%) в южной части центрального плеса. В районе выпуска сточных вод комбината зафиксирована высокая концентрация эвгленовых р.р. *Astasia*, *Euglena* (57% биомассы).

До введения СБО, в ранневесенний сезон (начало июня 1972г.) численность и биомасса фитопланктона не превышала 36 тыс. кл./л и 0,1 г/м<sup>3</sup> (Вислянская, 1978). В планктоне преобладали диатомовые *Aulacoseira islandica* (O. Müll.) Simonsen, *Tabellaria fenestrata* (Lyngb.) Kütz., *Asterionella formosa* Hass., доля которых в отдельных районах Северного Выгозера составляла 55–88% в суммарной численности и биомассе фитопланктона. В течение десятилетнего периода, прошедшего после введения СБО (1992–1993гг.), произошло резкое возрастание количественных показателей фитопланктона (см. табл.) и его видовое разнообразие за счет золотистых, синезеленых, зеленых, эвгленовых водорослей, что обусловлено высокими концентрациями биогенных элементов в сточных водах ЦБК.

В последующий период (1999г.), связанный с резким падением производства на ЦБК и сокращением объема сточных вод, а, следовательно, и снижением биогенной нагрузки на водоем (Платонов, 2007) уровень развития весеннего фитопланктона снизился в 3–4 раза (см. табл.).

**Количественные показатели весеннего фитопланктона  
в Северном Выгозере**

Год	Показатель	Среднее
1992	Численность, тыс.кл./л	655 ± 182
	Биомасса, г/м <sup>3</sup>	0,52 ± 0,16
1993	Численность, тыс.кл./л	711 ± 115
	Биомасса, г/м <sup>3</sup>	1,67 ± 0,31
1999	Численность, тыс.кл./л	247 ± 63
	Биомасса, г/м <sup>3</sup>	0,29 ± 0,03

В летнем, флористически наиболее разнообразном фитопланктоне Северного Выгозера, на протяжении всего периода наблюдений доминируют диатомовые (*Aulacoseira islandica*, *Asterionella formosa*, *Tabellaria fenestrata*). В период, следовавший за пуском СБО, когда снижалось токсическое и возрастало эвтрофирующее воздействие на экосистему водоема, усиливается в планктоне роль видов, являющихся показателями, как повышенного уровня трофии, так и органического загрязнения – из синезеленых (р. *Oscillatoria*), из хлорококковых (р.р. *Ankistrodesmus*, *Monoraphidium*), из вольвоксовых (р. *Chlamydomonas*), из эвгленовых (р.р. *Euglena*, *Phacus*), из желтозеленых (р. *Tribonema*), из криптофитовых (р. *Cryptomonas*).

Количественные показатели летнего фитопланктона в период до строительства СБО составляли, соответственно, 223 тыс. кл./л и 0,39 г/м<sup>3</sup> (Вислянская, 1978).

За два последующих десятилетия наблюдений (1981–1992гг.), т.е. с началом функционирования СБО и появлением признаков эвтрофирования водоема (Лозовик, 1998; Платонов, 2007) отмечалось резкое возрастание (в 4–5 раз) численности и биомассы летнего фитопланктона (см. рис.). При доминировании диатомовых, значительного развития в планктоне достигали синезеленые и хлорококковые водоросли (до 35% от общей численности).

С середины прошлого столетия, в период спада производства на Сегежском ЦБК, значения количественных показателей фитопланктона снизились и стабилизировались, не превышая уровня 500 тыс. кл./л для численности и 1,0 г/м<sup>3</sup> для биомассы (см. рис.). В летнем фитопланктоне рассматриваемого периода отмечалась высокая плотность популяции мелкоразмерной диатомеи *Aulacoseira alpigena* Grun. Simonsen, доля которой в 1994г., например, составляла 70% от численности всего фитопланктона, что обусловило в целом низкий уровень биомассы водорослей.

В 2007 г. в планктоне северной части Выгозерского водохранилища доминировали диатомовые водоросли, создававшие 80% численности и биомассы всего фитопланктона. В следующем (2008г.) году доля диатомей в численности фитопланктона сократилась до 45%, а в биомассе до 60%, но возрос вклад зеленых – до 10–15% как в численность, так и в биомассу фитопланктона. В целом, в летние сезоны обоих лет наблюдений в планктоне водохранилища доминировали диатомеи из р. *Aulacoseira*, р. *Cyclotella*, а также *Tabellaria fenestrata*, *Asterionella formosa*. В летнем планктоне последних лет исследований отмечена вольвоксовая водоросль р. *Phacotus*, интенсивно

развивающаяся в водах, обогащенных органическими веществами. Так, в планктоне Надвоицкого залива в 2007г. плотность популяции этого вида достигла 963 тыс.кл./л, а биомасса 0,26 г/м<sup>3</sup>, что составляло, соответственно, 88% от численности и 68% от биомассы всего фитопланктона. Этот вид входил в состав летнего комплекса фитопланктона других участков водохранилища, как в наибольшей степени испытывающих воздействие сточных вод комбината (Сенная губа, Лайкоручей, район о. Белая гора), так и в наименее загрязненной части водоема (центральный плес), но в значительно меньших количествах.

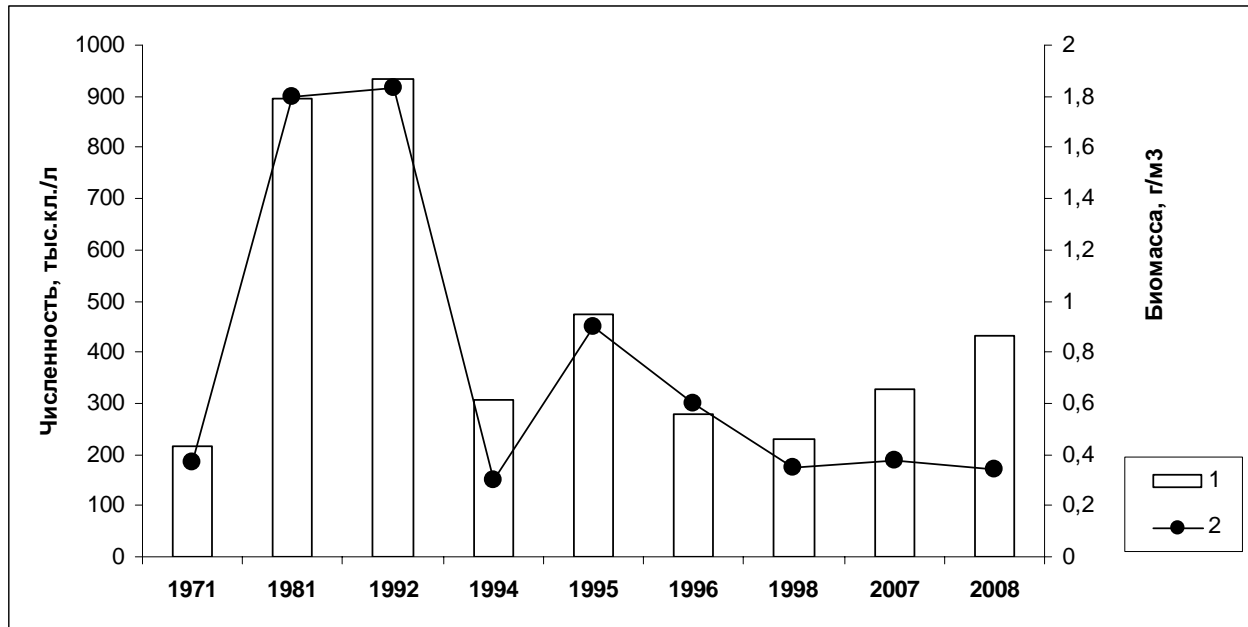


Рис. Численность (тыс. кл./л) и биомасса (г/м<sup>3</sup>) летнего фитопланктона в Северном Выгозере

В целом, невысокая интенсивность вегетации летнего фитопланктона в 1994–2008гг. в отличие от предыдущих лет определяется низким содержанием в воде в этот период биогенных элементов (Платонов, 2007). В то же время зафиксированы изменения в структуре фитопланктонных сообществ, характерные для антропогенного эвтрофирования. Так, сокращается (в процентном отношении) разрыв между численностью диатомовых и синезеленых (соответственно 37–57 и 24–35%), диатомовых и хлорококковых (соответственно 37–48 и 21–35%) в сравнении с 1970-ми годами прошлого столетия, когда первые составляли до 90%, а вторые – лишь 1–6% от общей численности фитопланктона (Вислянская, 1978, 1998; Вислянская, Харкевич, 1985; Вислянская, Чекрыжева, 2007).

Показатели обилия осеннего (2001г.) фитопланктона достаточно высокие (0,3–1,6 г/м<sup>3</sup>) и варьируют по участкам водохранилища. В районах, испытывающих непосредственное влияние производственных вод Сегежского ЦБК, в Мозог-губе и заливе Лайкоручей, отмечены самые низкие значения численности (117 и 255 тыс. кл./л) и биомассы (0,3–0,5 г/м<sup>3</sup>) фитопланктона.

В осеннем фитопланктоне водоема таксономически наиболее разнообразны диатомовые, зеленые и золотистые водоросли. Уровень количественного развития осеннего фитопланктона на 70–90% определялся развитием диатомовых. Водоросли из других групп фитопланктона, хотя и были разнообразными, но не достигали значительных величин численности и биомассы. Исключение составляли районы, испытывающие непосредственное влияние производственных вод Сегежского ЦБК – Мозог-губа и залив Лайкоручей, где зеленые водоросли по биомассе (26–33%) конкурировали с диатомовыми.

### Выводы

Сравнительный анализ многолетних данных (1971–2008 гг.) количественного развития фитопланктона Северного Выгозера указывает на возрастание в 4–5 раз численности и биомассы (910 тыс.кл./л и 1,83 г/м<sup>3</sup>) в 1981–1992 гг. (период после пуска СБО) по сравнению с наблюдавшимися в 1971г. (215 тыс.кл./л и 0,37 г/м<sup>3</sup>). В 1993–1996 гг., в связи с сокращением объема сточных вод ЦБК и загрязнений, от-



мечалось снижение численности и биомассы фитопланктона, в среднем до 390 тыс.кл./л и 0,59 г/м<sup>3</sup>. В последнее десятилетие наблюдений (1998–2008 гг.) количественные показатели фитопланктона Северного Выгозера проявляют тенденцию к снижению (средняя численность составляет 330 тыс.кл./л, биомасса 0,36 г/м<sup>3</sup>) по сравнению с первой половиной 1990-х годов прошлого столетия.

В процессе антропогенного эвтрофирования северной части Выгозерского водохранилища в таксономической структуре фитопланктонных сообществ отмечены изменения, выразившиеся в увеличении числа видов, являющихся показателями повышенного уровня трофии и органического загрязнения водоемов.

### Литература

- Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В., 2006. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. / Тель-Авив. 498 с.
- Вислянская И.Г., 1998. Северное Выгозеро, река Нижний Выг и озеро Воицкое. Характеристика биоценозов. Фитопланктон / Современное состояние водных объектов Республики Карелия. Ред. Н. Филатов и др. Петрозаводск: Кар НЦ РАН. С. 112–115.
- Вислянская И.Г., 1978. Фитопланктон Выгозерского водохранилища / Гидробиология Выгозерского водохранилища. Петрозаводск: КФ АН СССР. Ред. В. Соколова. С. 15–42.
- Вислянская И.Г., Харкевич Н.С., 1985. Фитопланктон и первичная продукция Выгозерского водохранилища / Органическое вещество и биогенные элементы в водах Карелии. Ред. Е. Васильева, П. Лозовик. Петрозаводск: КФ АН СССР. 1985. С. 144–165.
- Вислянская И.Г., Чекрыжева Т.А., 2007. Северное Выгозеро и озеро Воицкое. Фитопланктон / Состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1998–2006 гг. Ред. П. Лозовик и др. Петрозаводск: КарНЦ РАН. С. 147–151.
- Давыдова Н.Н. Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене / Ред. Л.: Наука. 1985. 244 с.
- Изменение режима Северного Выгозера и реки Нижний Выг под действием сточных вод Сегежского ЦБК и допустимый объем их сброса. Практические рекомендации. Петрозаводск, 1989. 35 с.
- Кузьмин Г.В., 1975. Фитопланктон / Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука. С. 73–84.
- Кузьмин Г.В., 1984. Таблицы для вычисления биомассы водорослей. Магадан. 47 с.
- Лозовик П.А., 1998. Химический состав воды / Современное состояние водных объектов республики Карелия. Северное Выгозеро, река Нижний выг и озеро Воицкое. Ред. Ред. Н. Филатов и др. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН. С. 101–109.
- Макушин А. В. Библиографический указатель по теме «Биологический анализ качества вод» с приложением списка организмов – индикаторов загрязнения. Л., 1974. 53 с.
- Оксиюк О.П., Жукинский В.Н.. 1983. Методические приемы использования эколого-санитарной классификации поверхностных вод суши // Гидробиологич. журн. Т. 19, № 5. С. 63–67.
- Платонов А. В., 2007. Северное Выгозеро и озеро Воицкое. Химический состав воды / Состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1998–2006 гг. Ред. П. Лозовик и др. Петрозаводск: КарНЦ РАН. С. 141–147.
- Прошкина-Лавренко А.И., 1953. Диатомовые водоросли-показатели солености воды / Диатомовый сборник. Л.: ЛГУ. С. 186–205.
- Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / Ред. Абакумов В.А. Л.: Гидрометеиздат. 1983. 50 с.
- Свиренко Д. О., 1915. Материалы к флоре водорослей России. Некоторые данные к систематике и географии / Тр. Общ. Испытат. Природы Хаюковского уни-та. Т. 1. (Онежское, Ладожское, Выгозеро, рр. Тележинка, Ковда и др.). С. 61–148.
- Современное состояние водных объектов республики Карелия. 1998. Ред. Н. Филатов и др. Петрозаводск: Кар НЦ РАН. 188 с.
- Состояние водных объектов республики Карелия. По результатам мониторинга 1998–2006 гг. Ред. П. Лозовик и др. Петрозаводск. Кар НЦ РАН. 2007. 210 с.
- Федоров В. Д., 1979. О методах изучения фитопланктона и его активности. М.: МГУ. 166 с.
- Харкевич Н.С., 1969. Влияние сточных вод Сегежского целлюлозно-бумажного комбината на химический состав и качество вод р. Сегежи и Выгозера / Вопросы гидрологии, озераведения и водного хозяйства Карелии. Петрозаводск. КФ АН СССР. С. 30–59.
- Харкевич Н.С., 1978. Характеристика химического состава и качества воды Выгозерского водохранилища / Водные ресурсы Карелии и их использование. Ред. Н. Харкевич. Петрозаводск: КФ АН СССР. С. 107–150.
- Sladecsek V., 1973. System of water quality from the biological point of view // Arch. Hydrobiol. 7. p. 1–128.
- Tikkanen T., 1986. Kasviplanktonopas. Suomen Luonnonsuojelun Tuki Oy, Helsinki. 277 p.

## PHYTOPLANKTON IN THE NORTHERN PART OF VYGOZERSKOYE RESERVOIR (REPUBLIC OF KARELIA, RUSSIA)

**T.A. Chekryzheva**

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre of RAS,  
Petrozavodsk, Russia, e-mail: Tchekryzheva@mail.ru

Phytoplankton in Vygozerskoye impoundment reservoir (Republic of Karelia, Russia) is known to comprise 264 algal taxa. The phytoplankton species composition is mainly made up of diatoms (45 %), green (32 %) and golden (9 %) algae. Data on characteristics of the phytoplankton eco-floral composition are provided; indicator species of water status and quality were identified. Changes were noted in the taxonomic structure of the phytoplankton communities, manifest in an increased number of species indicating higher trophic status and organic pollution. Long-term data (1971–2008) on quantitative development of phytoplankton in the northern part of Vygozerskoye impoundment reservoir, which has long been exposed to the impact of wastewater from Segezha pulp-and-paper mill, were analysed. Saprobiological condition of water in the surveyed part of the impoundment reservoir was assessed.

## ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ БЕЛОМОРСКОЙ ТРЕСКИ НА БОЛЕВУЮ СТИМУЛЯЦИЮ

**Л.С. Червова**

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,  
каф. ихтиологии, г. Москва, Россия  
e-mail: lily\_chervova@mail.ru

### Введение

На современном этапе изучение биологических основ гуманного отношения к рыбам как объектам лова, хозяйственного использования и научного экспериментирования является наиболее динамично развивающимся направлением в биологии рыб и включает эволюционные, экологические, поведенческие, этические, биохимические и физиологические аспекты (VII<sup>th</sup> Congress on biology of fish, 2006). Значительно возросло число работ, направленных на изучение рецепции болевых стимулов, структуры ноцицептивных рецепторов, а также фармакологических средств обезболивания у рыб (Червова, Лапшин, 2000; Sneddon, 2003; Newby et al., 2008).

Изучение болевых реакций у рыб, как и у других безголоных немлекопитающих, очень затруднено из-за сложности выработки методических приёмов, позволяющих дозировать стимул и измерять величину ответа на него.

Целью нашей работы было изучение способности морских рыб отвечать на болевые стимулы, а также возможности модуляции болевой чувствительности опиоидными и неопиоидными анальгетиками у беломорской трески.

### Материал и методика

Опыты проводили на Беломорской биологической станции МГУ, залив Великая Салма. Объектом исследований служила беломорская треска *Gadus morhua maris albi* массой 100–300 г. Всего использовано около 200 особей. Выловленных рыб держали в садках в течение 10 дней, затем переносили в лабораторный аквариум и через три дня брали в опыт.

Для изучения ответов рыб на болевые стимулы была разработана оригинальная методика, базирующаяся на регистрации моторно-двигательной реакции, направленной на устранение болевого стимула.

Рыбу фиксировали в станке (в области рта и грудных плавников), при этом хвостовой стебель оставался незакреплённым. Жабры постоянно орошались проточной водой. Подвижная плексигласовая «вилка» охватывала хвостовой стебель в задней трети тела. Каждое движение хвостового стебля, которое отклоняло «вилку» от нулевой точки, регистрировалось специально сконструированным электронным интегратором с цифровой индикацией. Ампли-

туда и длительность этих движений, отражающих импульс силы (ньютон·с), характеризовали величину усилия, развиваемого хвостовым стеблем рыбы в ответ на болевую стимуляцию. В качестве болевого стимула использовали точечные уколы кожи иглой, сильное сдавливание плавников ножницами или пинцетом, не приводящее к разрыву тканей, а также электрическое раздражение хвостового плавника (залп длительностью 0,1 с, состоящий из 30 импульсов по 0,5 мс каждый). Раздражающие электроды вводили в эпителиальную ткань лопасти хвостового плавника, что исключало непосредственное раздражение мышечных волокон. Амплитуду стимула подбирали в каждом опыте индивидуально (4–7в). Регистрирующая система запускалась одновременно с подачей болевого раздражителя. В качестве анальгетиков использовали:  $\mu$ -опиоидные пептиды  $\beta$ -казоморфин и дерморфин, психотропный препарат сиднофен, анальгин и новокаин. Эти вещества предъявляли различными способами: интраназально ( $\beta$ -казоморфин и дерморфин) по 20 мкл в оба обонятельных мешка одновременно, внутривентрально (сиднофен,  $\beta$ -казоморфин, анальгин), внутримышечно (анальгин), подкожно (новокаин). Треске вводили растворы  $\beta$ -казоморфина интраназально (2,5, 5, 7,5, 10, 12,5 мг/кг) и внутривентрально (10, 15, 20, 25, 30 мг/кг), дерморфина интраназально 0,02–0,20 мг/кг, растворы сиднофена (15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 100 мг/кг) внутривентрально, 50% раствор анальгина (0,5, 1, 1,5, 2, 2,5 мл) внутривентрально и внутримышечно (0,25, 0,5, 0,75, 1мл), 2% раствор новокаина подкожно и в ткань плавника (0,1, 0,25, 0,5, 0,75 мл). Контрольным животным вводили такие же объёмы физраствора.

Ноцицептивную чувствительность рыб измеряли с интервалом 5мин в течение одного часа до (норма) и одного двух часов после введения анальгетика. Величину анальгезии (снижение болевой чувствительности) рассчитывали в процентах по отношению к норме. Полученные данные статистически обрабатывали по Манну-Вилкоксоу-Уитни.

### Результаты

Наиболее чувствительными ноцицептивными зонами были хвостовой и спинные плавники, грудные плавники, кожа вокруг глаз, эпителий обонятельного мешка; менее чувствительными – кожа поверхности головы и тела. Двигательные ответы на ноцицептивную стимуляцию хвостового плавника путем кратковременного (1 с) механического сжатия или электрического раздражения были наиболее сильными и стабильными. В дальнейшем для исследований эффектов анальгетических веществ мы наносили болевой стимул только на лопасть хвостового плавника. В момент нанесения ноцицептивного стимула частота дыхательных движений достигала 4–5/с.

Инъекция в эпителиальную ткань плавников или подкожно в месте нанесения стимула 0,25 мл 2% раствора новокаина (локально блокирующего нервное проведение) полностью устраняло ноцицептивные ответы.

Анальгетический эффект опиоидного анальгетика  $\beta$ -казоморфина (снижение реакций на механические болевые стимулы) наблюдался через 10–15 мин после введения на 15–37% (интраназально) (рис. 1а) и на 14–35% (внутривентрально) (рис. 1б). Одна и та же концентрация  $\beta$ -казоморфина при интраназальном введении вызывала больший анальгетический эффект, чем при внутривентральном. Дерморфин (интраназально) снижал болевую чувствительность на 55% в концентрации 0,20 мг/кг в июле и 0,02 мг/кг в сентябре. Сиднофен, вводимый внутривентрально, вызывал снижение ответов на механические болевые стимулы на 15–89% в зависимости от концентрации (рис. 2). Однако следует отметить, что этот препарат в концентрациях 40 мг/кг и более вызывал гибель рыб через 1–3 часа после окончания опыта и переноса рыб в лабораторный аквариум. У рыб, которым вводили меньшие концентрации сиднофена, по окончании опыта поведение было обычным.

Анальгин, вводимый треске в виде 50% раствора внутривентрально, оказывал очень слабое действие на ноцицептивные ответы рыб. Реакции на механические болевые стимулы снижались на 16–21%, хотя применяемые концентрации были высокими (после введения 2 мл/100г наблюдалась гибель рыб в лабораторном аквариуме через несколько часов после окончания опыта). Этот же препарат, вводимый внутримышечно вблизи хвостового плавника, оказывал значительный анальгетический эффект (29–45%), хотя применялся в более низких концентрациях.

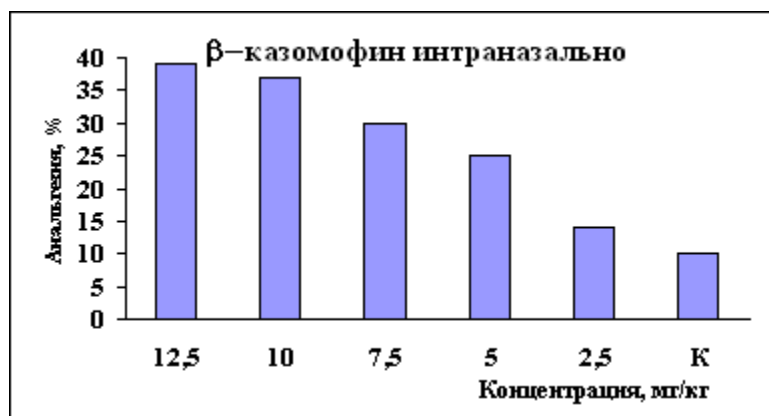


Рис.1а



Рис.1б

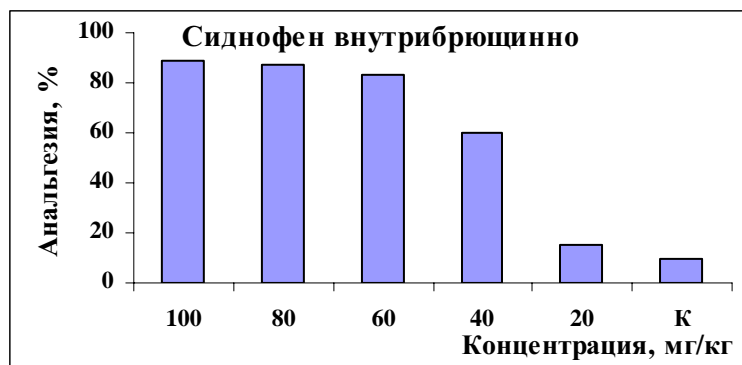


Рис.2

Отмечено также, что порог болевой чувствительности значительно повышается у беломорской трески в результате стресса, связанного с выловом и переносом рыб в лабораторный аквариум в течение 2–3 суток после вылова наблюдалось почти полное угнетение двигательных ответов на механические болевые стимулы.

### Обсуждение результатов

Наши данные показывают, что у морских рыб, как и у других позвоночных, в ответ на ноцицептивный стимул первой проявляется поведенческая защитная реакция – движение, направленное на устранение болевых ощущений. У наземных животных это может быть отдёргивание конечности, отведение хвоста, побег, прыжок и т.д. У рыб – попытка уплыть, которая начинается с движения хвостового стебля. Ноцицептивный ответ в большинстве случаев регистрируется как изолированный поведенческий акт, но это только один компонент.

Интегрированный ответ животных на повреждающие воздействия включает также вегетативный (повышение артериального давления, увеличение частоты дыхания и сердечных сокращений, выделение из надпочечников гормонов тревоги – адреналина и норадреналина, и пр.), эмоциональный (страх, тревога), мотивационный (стремление изменить поведение) и другие компоненты.

Как показано в последние годы, у животных существует не только болевая (ноцицептивная) система, но также эндогенная антиноцицептивная морфофункциональная система, поддерживающая и регулирующая порог болевой чувствительности на необходимом функциональном уровне. В ответ на болевой стимул одновременно с запуском немедленного поведенческого ответа происходит усиление активности противоболевой системы, по механизму обратной связи запуская процессы, притупляющие боль.

Анальгетическая активность для исследованных рыб эндогенных опиоидных пептидов  $\beta$ -казоморфина и дерморфина свидетельствует о существовании у рыб  $\mu$ -опиоидной эндогенной антиноцицептивной системы. Подтверждением этого могут служить данные о том, что  $\mu$ - и  $\kappa$ -опиатные рецепторы, опосредующие антиноцицептивные эффекты опиоидов, были обнаружены в мозгу золотой рыбки (Brooks et al., 1993) и в различных структурах мозга кижучей *Oncorhynchus kisutch*, проходящих смолтификацию (Ebbesson et al., 1993).

Как было показано ранее, дерморфин при введении в обонятельные мешки обладал значительной анальгетической активностью для крыс и вызывал аналгезию намного эффективнее, чем при внутрибрюшинных инъекциях (Батурина и др., 1988).

Представления о том, существует ли у рыб болевая чувствительность, находятся в широком диапазоне мнений – от полного отрицания таковой до существования у рыб осознанного восприятия боли (Sneddon, 2003). Стоит ли говорить о боли у рыб? Безусловно, да. Гуманное отношение к рыбам также обоснованно как и к другим животным, имеющим более сложную организацию головного мозга. У рыб нет слуховой коры, но они слышат, у них нет зрительной коры, но ни видят, у них нет обонятельной коры, но они чувствуют запахи. Наши эксперименты доказывают, что они также чувствуют болевые стимулы. Очевидно, бескорковым животным недоступны сочувствие и сострадание и т.п., но они испытывают чувство боли, запуская рефлекс избегания как высшие позвоночные и люди. Имеются наблюдения, которые позволяют усомниться в том, что у рыб вообще существует болевая чувствительность, например, – пожирание акулой собственных внутренностей, выпадающих из вспоротого живота. Такие факты можно объяснить тем, что у голодных животных пищевая мотивация бывает настолько сильной, что происходит функциональная блокада пищевым возбуждением механизмов, участвующих в распространении болевых импульсов в центральные структуры. Конкурентная аналгезия локальных болевых воздействий возникает и при действии других экстремальных факторов, например, стресса, что мы также наблюдали в своих опытах. Колебания порога боли, по-видимому, могут играть приспособительную роль, так как позволяют животным при необходимости удовлетворять жизненно важные потребности (пищевую или оборонительную), несмотря на действие повреждающих стимулов.

Уменьшение болевой чувствительности под действием неопиоидных препаратов анальгина и сиднофена, а также аналгезия, вызываемая состоянием стресса свидетельствуют о том, что у рыб имеются, кроме опиоидной, и другие эндогенные системы обезболивания.

Таким образом, полученные данные позволяют считать, что у рыб существуют системы ноцицепции и антиноцицепции. Болевая чувствительность рыб имеет индивидуальную вариабельность по амплитуде и по характеру ответов, зависит от физиологического состояния особи и от сезона года.

До сих пор нет в существующих российских законах положений, детально регламентирующих условия содержания рыб. Постановление 1977 г. не рассматривает рыб, не прописаны правила обращения с ними. В федеральном законе «О животном мире» провозглашаются, но не прописаны правила охраны и использования объектов животного мира, содержащихся в полувольных условиях или искусственно созданной среде обитания (Никоноров, 2006). В проект федерального закона «Об аквакультуре» в раздел о способе содержания в искусственных, естественных и др. условиях следовало бы внести правила обращения с ры-

бами в условиях экспериментального и промышленного использования, учитывая, что некоторые манипуляции могут причинять им болезненные ощущения.

Отсутствие юридических ограничений на эксперименты с низшими позвоночными и, в частности, с рыбами, отнюдь не снижает актуальности разработки методов эффективного обезболивания при хирургическом вмешательстве или иных действиях, активизирующих ноцицептивную систему подопытных животных. Это касается как порядка проведения научных экспериментов, так и процедур промышленного характера, например, получения икры на осетровых рыбозаводах.

*Работа поддержана грантами: РФФИ №06-04-49266, Ведущие научные школы НШ-2104.2008.4.*

### Литература

Никоноров С.И. и др. 2006. Правовое регулирование деятельности в области аквакультуры // *Вопр. рыб. боловства*. Т. 7, N 3(27). С. 414–435.

Червова Л.С. 1997. Болевая чувствительность и поведение рыб // *Вопр. ихтиологии*. Т. 37, N 1. С. 106–111.

Червова Л.С., Каменский А.А., Малюкина Г.А. и др. 1992. Исследование механизма интраназального действия дерморфина у представителей двух классов позвоночных // *Жур. эволюцион. биохим. физиол.* Т. 28, N 1. С. 45–48.

Червова Л.С., Лапшин Д.Н. 2000. Опиоидная модуляция болевых порогов у рыб // *Доклады АН*. Т. 375, N 5. С. 703–704.

Червова Л.С., Лапшин Д.Н., Каменский А.А. 1994. Болевая чувствительность форели и аналгезия, вызываемая интраназально вводимым дерморфином // *Доклады АН*. Т. 338, N 6. С. 836–837.

Brooks A.I., Standifer K.M., Ciszewska G.R. et al. 1993. Expression of  $\kappa$ -3 and  $\mu$  binding sites in *Bufo marinus* (Giant toad) and *Carassius auratus* (Goldfish) brain // *Soc. Neurosci. Abstr., Opioids: Recep., III*. V. 19, N 5. P. 1156.

Ebbesson L.O.E., Daviche P., Ebbesson S.O.E. 1993. Distribution and changes in  $\mu$ - and  $\kappa$ -opiate receptors in the midlife critical period of natural development in Coho salmon, *Oncorhynchus kisutch* // *Abstr. Amer. Assoc. Anat.*, 106th Ann. Meet. Joint. Jpn. Assoc. Anat., San Diego, Calif., March 27–31, 1993, *Anat. Rec. Suppl.* P. 48.

Newby N.C. et al. 2008. Pharmacokinetics of morphine and its metabolites in freshwater rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // *J. Vet. Pharmacol. Therap.* V. 31. P. 117–127.

Sneddon L.U. 2003. The evidence for pain in fish: the use of morphine as an analgesic // *Applied Animal Behav. Sci.* V.83. P. 153–162.

VII<sup>th</sup> Congress on biology of fish. 2006. Canada. St.-John's, 18–22 July. Abstract Book, pp. 241.

## BEHAVIORAL REACTIONS OF WHITE SEA COD ON THE NOCICEPTIVE STIMULATION

L.S. Chervova

Dept. of Ichthyology, Faculty of Biology, Lomonosov Moscow State University,  
Moscow, Russia, e-mail: lily\_chervova@mail.ru

An originally optico-mechanical system was elaborated to record the behavioral responses to aversive stimuli in cod. The nociceptive stimulation (0.1-s train of 30 electric pulses of 0.5 ms each) and registration of the caudal peduncle moving were made synchronically. Nociceptive thresholds (NT) were measured at 5-min intervals for 1 h before and 1–2 h after administration of analgesic agents. Drugs used were two  $\mu$ -opioids dermorphin and  $\beta$ -casomorphin, and nonopioid agents sydnophenum, analginum, novocainum. Drugs were administrated by different ways – intranasally, peritoneally, subcutaneously. Administration of analgetics produced dose-dependent and lasting for at least 1 h (up to 2–3 h) increase of NT in 1.5–3.0 times. The higher the dose, the more quickly it acted. Local subcutaneous injections of 2% solution of novocainum blocked the nociceptive responses. Stress significantly reduced nociceptive responses in cod. Results suggest that fish as higher vertebrates have nociceptive and opioid and nonopioid antinociceptive systems; and its both take part in the control of fish behavior on the level of central mechanisms

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО АВИАМОНИТОРИНГА БЕЛОМОРСКОЙ ПОПУЛЯЦИИ ГРЕНЛАНДСКОГО ТЮЛЕНЯ В 1998–2008 ГГ.

**В.И. Черноок**

Научно-исследовательский институт «Гипрорыбфлот», г. Санкт-Петербург, Россия

e-mail: chernook@grf.spb.ru

Беломорская популяция гренландского тюленя является важной частью экосистем Баренцева и Белого морей. Этот многочисленный вид тюленей может являться биогеографическим интегральным показателем состояния морских экосистем в Баренцевоморском регионе. По состоянию этой популяции и распределению тюленей можно:

- оценить биоресурсный потенциал морей, в которых обитает гренландский тюлень;
- определять местоположение высокопродуктивных районов;
- оценить воздействие тюленей на промысловые виды рыб;
- отслеживать воздействие глобальных климатических изменений на биоресурсы;
- оценивать воздействия нефтяного промысла на морскую экосистему;
- определять размер квот для промысла беломорской популяции гренландского тюленя.

Для получения объективных документальных данных и для принятия обоснованных управленческих решений была создана система инструментального контроля состояния беломорской популяции гренландских тюленей. Количество родившихся щенков – интегральный показатель состояния всей популяции и перспектив ее дальнейшего развития. Численность приплода быстрее реагирует на изменения среды обитания, чем численность всей популяции.

Ежегодно в конце февраля – в начале марта у гренландских тюленей наступает щенка, и в этот период тюлени образуют в Белом море достаточно плотные залежки, количество самок на которых достигает несколько сотен тысяч голов. В первой декаде марта уже более 90% самок приносит детенышей. После рождения детеныши тюленей находятся на льду и не сходят в воду в течение 3 недель (период лактации), что и создает условия для проведения инструментального учета численности приплода гренландских тюленей на щенных залежках. Количество взрослых тюленей на льду сильно зависит от многих факторов: погодных условий, времени суток, физиологии животных и др. Количество взрослых тюленей на льду может составлять от 10% до 90% от общего количества взрослых животных, находящихся на щенных залежках. Поэтому регистрация именно детенышей при помощи фото, видео и тепловой аппаратуры даёт более достоверную оценку состояния популяции. Учет приплода нью-фаундлендской и ян-майенской популяций гренландских тюленей проводят в Канаде и Норвегии.

На сегодняшний день инструментальные авиасъемки являются основным средством учета морских млекопитающих. Аэровизуальный учет не может дать требуемой точности, кроме того, материалы такого учета не имеют документальной основы, в них много субъективизма, их невозможно проверить и повторно обработать. Применение инструментальной методики учета дало возможность документировать материалы съемок, провести анализ и сравнение многолетних колебаний численности приплода популяции и тенденции ее развития.

Метод комплексной тепловой авиасъемки заключается в синхронной съемке тепловых тюленей на льду в инфракрасном и видимом диапазонах спектра с последующей совместной обработкой полученных снимков. Теплового контраста между детенышами тюленей и окружающим фоном (льдом) достаточно для их регистрации с помощью тепловизионной аппаратуры с борта самолета.

В середине марта выполнялись инструментальные учетные авиасъемки гренландских тюленей в Белом море. Зарегистрированные тепловизором тюлени разделяются на взрослых и детенышей при совместном анализе инфракрасных изображений и фотоснимков видимого диапазона (рис. 1). Авиасъемки выполнялись по стандартизованной сетке учетных галсов, высота полета 200–250 м, учетная полоса тепловизора 500–600 м, покрытие учетной полосой площади льда Белого моря 5–7%. Учеты выполнялись в течение нескольких дней (3–5).

Кроме численности тюленей, при проведении этих авиаучетов мы получаем много дополнительной важной информации: половозрастную характеристику популяции (по линейным размерам тюленей и возрастной окраске), взаимосвязь распределения тюленей и параметров среды, структуру щенных залежек, поведение животных, воздействие интенсивного судоходства и загрязнений на гренландских тюленей и др.

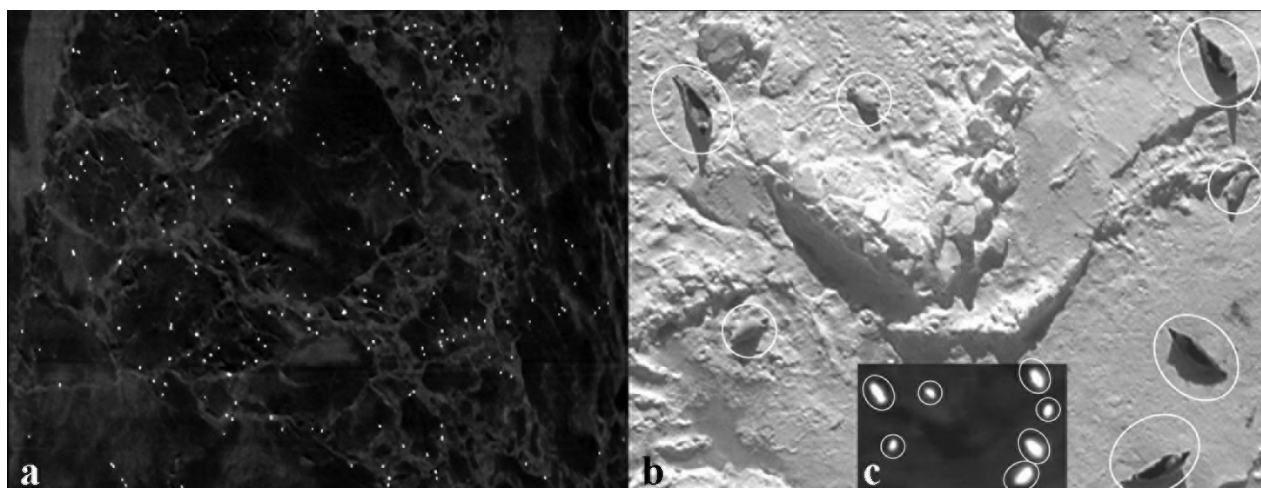


Рис. 1. Пример материалов тепловой и фотосъемки на льдах Белого моря: а – фрагмент инфракрасного изображения щенной залежки гренландского тюленя (черный фон – холодный лед, белые пятна на темном фоне – теплые тюлени: взрослые и щенки), б – фрагмент фотоснимка, с – соответствующий ему увеличенный фрагмент теплового снимка. Белыми кружками отмечены самки тюленей и детеныши. Белых детенышей на льдах трудно распознать на обычных фотоснимках (показано с увеличением), а на тепловом снимке они хорошо различимы

Все зарегистрированные тепловизором тюлени имеют точные географические координаты. Так, например, за один из полетов в полосе обзора тепловизора было зарегистрировано около 30 тысяч тюленей и для каждого животного были определены его географические координаты. Это позволяет обрабатывать материалы инфракрасных авиасъемок с помощью геоинформационных систем (ГИС). Все полученные «слои» – результаты съемки – укладываются на электронную карту.

В период с 1998 года по 2008 год практически ежегодно по унифицированной технологии комплексной тепловой авиасъемки выполнялись учеты детенышей гренландского тюленя в Белом море. Результаты авиаучетов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Авиаучеты детенышей гренландского тюленя в Белом море в 1998–2008 гг.

Год проведения авиаучета	Численность щенков и ошибка учета, в тыс. голов	Количество добытых щенков, в тыс. голов
1998	287,0± 43,0	13,0
2000	340,0± 30,0	31,0
2002	330,0± 45,0	24,0
2003	327,0± 41,0	37,9
2004	238,0± 36,0	0
2005	122,0± 19,0	14,2
2007	159,0±28,0	5,3
2008	114,0±21,0	13,0

В 1998–2003 гг. численность новорожденных щенков варьировала незначительно и в целом была на довольно высоком уровне в 290–340 тыс. голов. Однако в 2004 г. численность новорожденных щенков резко упала – на 37%, различия статистически достоверны. В 2005 г. резкое снижение рождаемости продолжилось.

Особенностью 2007 г. было позднее становление ледового покрова и малая его площадь. Численность новорожденных гренландских тюленей составила 159,0±28,0 тысяч голов. Щенные залежки были распределены на малой площади, плотность распределения тюленей достигала 1500 животных на кв. км. И по этим плотным залежкам проходили трассы судов, разрушающие залежки. Во время полетов были зафиксированы танкеры и контейнеровозы, проходящие по ледовым полям Белого моря. Маршруты судов проходили через места концентраций самок с недавно родившимися детенышами. Суда и следы после них во льдах хорошо наблюдались визуально и были зафиксированы фотоаппаратами и тепловизором с регистрацией времени и места (рис. 2).



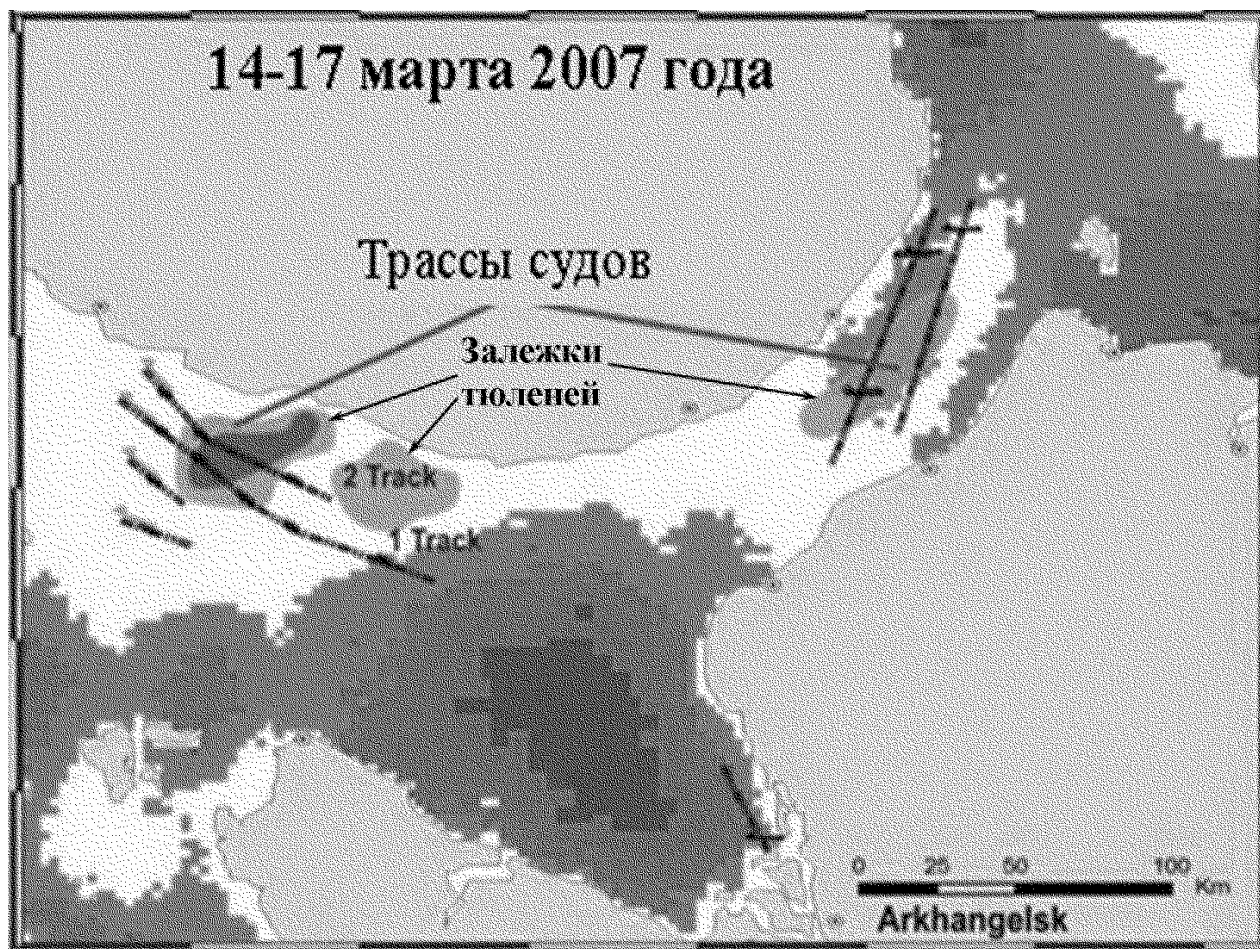


Рис. 2. Распределение гренландских тюленей на ценных залежках в Белом море 14–17 марта 2007 г. и судоводные трассы, наложенные на спутниковый снимок распределения льда (белый цвет – лед, темный – открытая вода)

Начало 2008 года характеризовалось мощной аномалией, которую можно рассматривать, как последствия глобального потепления. Ледовый покров на Белом море отсутствовал практически до 20 февраля. Ледообразование началось практически непосредственно с началом процесса деторождения. Сроки деторождения запоздали и сдвинулись приблизительно на 10 дней. Толщина льда была 10–20 см, много было «мокрых» льдов, то есть лед был малоприспособленным для процессов щенки и выживания детенышей. При попадании щенка в воду резко возрастает вероятность его гибели. В 2008 г. численность приплода составила  $114,0 \pm 21,0$  тысяч голов и явилась самой низкой у беломорской популяции гренландского тюленя за период инструментального мониторинга с 1998 по 2008 г. Фактически произошло трехкратное сокращение рождаемости в популяции.

Таким образом, в популяции гренландского тюленя в Белом море наблюдаются сильнейшие изменения, связанные с несколькими факторами. **Глобальное потепление** может стать самым мощным фактором, влияющим на выживаемость морских млекопитающих Арктики (рис. 3). Особенно если это происходит на фоне нарушения экологического равновесия в морской экосистеме. Следующий негативный фактор – повышенная **антропогенная активность в Арктике**, которая наблюдается в последние годы в связи с развитием нефтедобычи на шельфе и добычи минерального сырья на побережье и транспортировкой его морем. Смещение ледовых полей к Канда拉克шскому заливу, где пролегают трассы нефтяных перевозок, привело к тому, что танкеры стали проходить прямо по репродуктивным залежкам тюленей, увеличивая вероятность гибели новорожденных.

Таким образом, кризисная ситуация с рождаемостью у гренландского тюленя заставляет пересмотреть многие методические подходы к оценке запасов морских млекопитающих, их промысловому использованию и организации охраны.

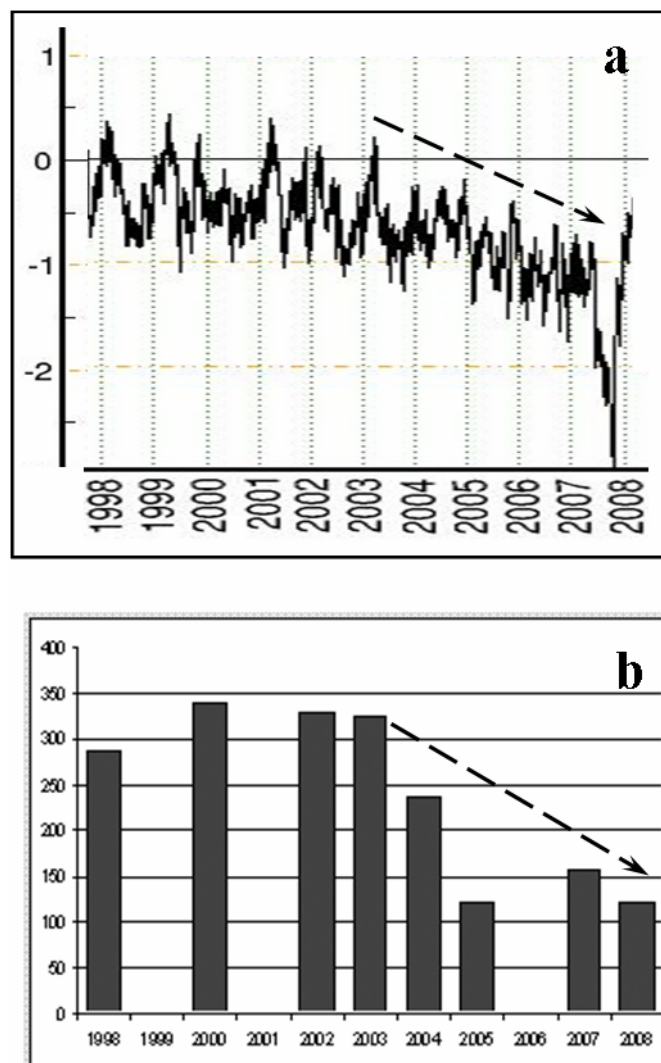


Рис. 3. График изменения площади льда (миллионы кв. км) в Арктике за 1998–2008 гг. (а) и диаграмма изменения численности приплода беломорской популяции гренландского тюленя за тот же период (b). По вертикальной оси диаграммы численность приплода дана в тысячах особей.

### Выводы

Опыт 11-летнего использования инструментальной технологии учета позволил создать систему объективного контроля состояния популяции гренландского тюленя в период резких климатических изменений. Получен многолетний регулярный ряд данных о состоянии беломорской популяции гренландских тюленей и ледовых характеристиках среды их обитания, что позволит определять взаимосвязь состояния популяции с процессами, происходящими в Баренцевом и Белом морях, и выявлять тенденции развития беломорской популяции гренландского тюленя.

*Выражаю благодарность сотрудникам ПИНРО и Гипрорыбфлота, принимавшим участие в авиа съемках и обработке материалов авиаучетов.*

### Литература

Черноок В.И., Кузнецов Н.В., Яковенко М.Я. Мультиспектральная авиасъемка залежек тюленей // Мурманск, ПИНРО, 1999. – 73 с.

Черноок В.И. и др. Оценка численности детенышей гренландского тюленя беломорской популяции на ценных залежках в 2003 г., Морские млекопитающие Голарктики, Москва- 2004, С.575–578.

Черноок В.И. Инструментальные методы мониторинга морских млекопитающих // Информационный бюллетень № 13. Совет по морским млекопитающим. – 2008. – С.26–30.

## ПЕРВИЧНАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ФИТОПЛАНКТОНА В ПРОЛИВЕ ПЕЧАКОВСКАЯ САЛМА БЕЛОГО МОРЯ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД.

**В.А. Чугайнова, И.Ю. Македонская**  
Северный филиал ПИНРО, г. Архангельск, Россия  
e-mail: val@sevpinro.ru

Первичная продукция, наибольший вклад в которую вносят планктонные водоросли, наряду с поступающими в водоем аллохтонными органическими веществами составляет материальную и энергетическую основу всех последующих этапов продукционного процесса. Благодаря разработке методов изучения первичной продукции, общая биологическая продуктивность водоема получила количественное выражение. Необходимость количественной характеристики органических веществ, синтезируемых при фотосинтезе планктона, отчетливо выступает при решении многих вопросов и практики гидробиологии. Но, несмотря на это, изученность продукционных характеристик фитопланктона оставляет желать лучшего.

### Материалы и методы

Исследования первичной продуктивности фитопланктона проводились с 7 по 21 июля 2007 г. на стационаре СевПИНРО в проливе Печаковская Салма (Соловецкие острова) на суточных станциях (всего 14 определений валовой первичной продуктивности). Кроме этого, одной из целей наших исследований явились качественные и количественные суточные изменения фитопланктона. В связи с этим в прибрежной зоне в поверхностном слое было собрано и обработано 13 проб фитопланктона. Пробы фитопланктона отбирались 14–15 июля через два часа. В комплекс наблюдений наряду с качественными и количественными показателями фитопланктона входило определение температуры, солености вод, содержания кислорода.

Анализы проб морской воды выполнялись общепринятыми в гидрохимической практике методами. Растворенный в воде кислород определялся объемным методом Винклера (Руководство..., 2003). Инкубирование проб воды для определения интенсивности фотосинтеза производилось в темных и светлых склянках при температуре морской воды и естественном освещении. Пробы на пигментный состав фитопланктона фильтровались через мембранные фильтры «Владипор» диаметром 35 мм с размером пор 0,65 мкм. Образцы фильтров хранились в морозильной камере в емкости с силикагелем. Пигменты микроводорослей были определены в лабораторных условиях стандартными методами. Оптические плотности экстракта измеряли при длинах волн 480, 630, 647, 664 и 750 нм. Концентрацию хлорофилла «а» вычисляли по формулам Джеффри и Хамфри (Jeffrey S.W., Humphrey G.F., 1975).

В результате исследований был получен ряд наблюдений над изменениями валовой первичной продукции в течение 15 суток, а также выявлена суточная динамика качественных и количественных показателей фитопланктона.

### Результаты и их обсуждение

По нашим наблюдениям, значения валовой первичной продукции (ППвал) в Печаковской Салме варьировали в широком диапазоне – 0,33–1,65 мгО<sub>2</sub>/л/сут (что соответствует 124–619 мгС/м<sup>3</sup>/сут), среднее значение составило 0,63 мгО<sub>2</sub>/л/сут (256,4 мгС/м<sup>3</sup>/сут). Максимальные значения были зафиксированы в последние двое суток, что, вероятно, связано с более благоприятными метеоусловиями (рис.1). Эти величины в основном соответствуют ППвал, полученной в предыдущие годы в данном районе (Чугайнова, Македонская, 2007).

В целом, валовый фотосинтез в течение 15 суток изменялся достаточно равномерно, показывая волнообразный характер. Нужно отметить, что в этот период наблюдались стабильные природные условия. Так температура воды изменялась в диапазоне от 8,4°C в начале наблюдений до 10°C в конце (9,66 С средняя), соленость изменялась в пределах 26,2–26,9 ‰ (при средней 26,6 ‰). Также практически однородными были и метеоусловия.

Показатели деструкции в течение всего периода наблюдений превышали ППвал, и только в конце срока их значения были близки к сбалансированности. В среднем деструкция составляла 414,4 мгС/м<sup>3</sup>/сут (при вариабельности 86,3 – 742, 5 мгС/м<sup>3</sup>/сут).

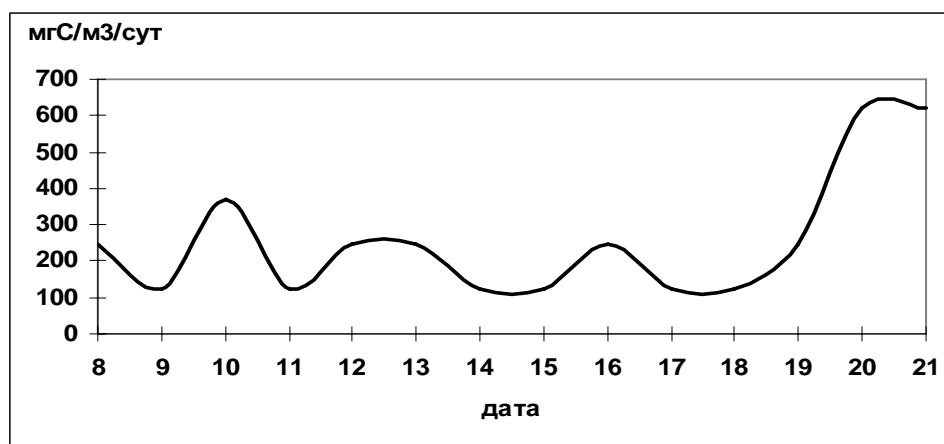


Рис. 1. Динамика изменений валовой первичной продукции 8–21 июля 2007 г.

Суточные изменения численности, биомассы и комплекса доминирующих видов фитопланктона подвергались некоторым колебаниям. Биомасса изменялась в пределах от 94,8 до 496,44 мкг/л, а численность – от 4860 до 18220 кл/л (рис.2) Среднесуточные значения численности и биомассы составили 10277 кл/л и 311,21 мкг/л, соответственно.

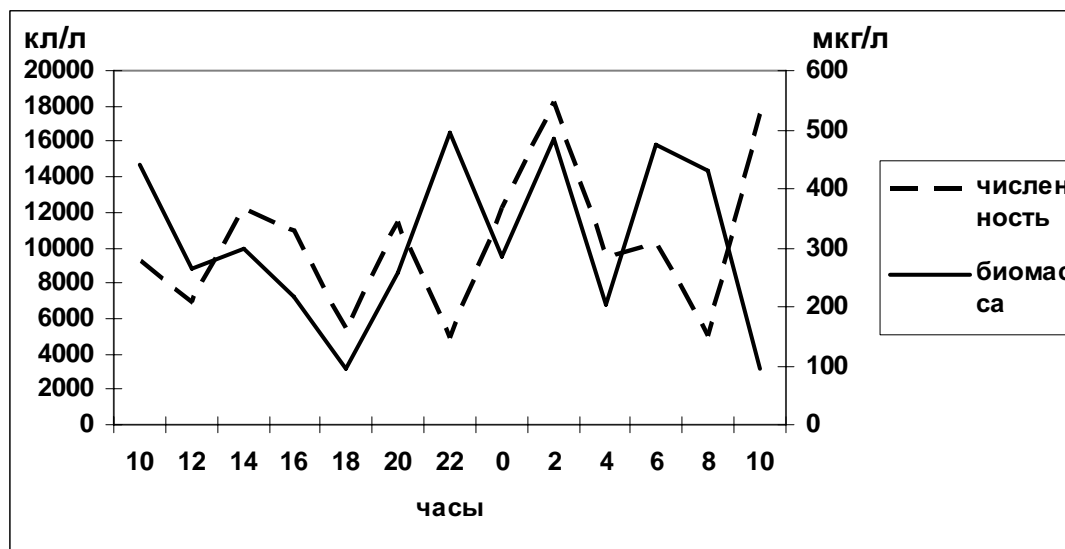


Рис. 2. Численность (кл/л) и биомасса (мкг/л) фитопланктона 14–15 июля 2007 г.

Общее число таксонов микроводорослей в июльских пробах в течение суток колебалось от 13 до 25. Всего за время исследований было обнаружено 45 таксонов. В комплекс доминирующих таксонов июльского фитопланктона вошли: криптофитовые – *Leoucocyrtos marina*; зеленые – *Piraimonas sp.*, мелкие *Chlorococcales*; диатомовые – *Thalassiosira Nordenscioldii*, *Leptocylindrus danicus*, *Detonula confervacea*, *L. icmophora paradoxa*; динофитовые – *Gymnodinium arcticum*. Комплекс микроводорослей довольно обычен для данного района в летний сезон (Македонская, 2007).

Основную роль в фотосинтетическом процессе играет хлорофилл «а», все другие пигменты лишь передают поглощенную ими энергию хлорофиллу «а». Таким образом, содержание хлорофилла «а» является важнейшей характеристикой фотосинтетической активности фитопланктона, по которой можно также определить схематичные показатели биомассы фитопланктона (см. рис. 2). Изучение количественных соотношений между различными пигментами фитопланктона позволяют судить о преобладании той или иной группы водорослей в морской воде. Так, основную массу морского фитопланктона составляют диатомовые и перидиниевые водоросли, которые содержат хлорофиллы «а» и «с». Определение даже небольшого

количества хлорофилла «b» указывает на развитие мелких жгутиковых (зеленых) и синезеленых водорослей. Соотношения между пигментами водорослей характеризуют также физиологическое состояние популяции фитопланктона. 51 % фитопигментов приходится на долю хлорофилла «a». Хлорофилл «b», присутствующий в хлоропластах зеленых водорослей составляет 24 %, на долю хлорофилла «c», который содержится в клетках диатомовых, динофитовых и других отделов водорослей приходится 25 %. Такое соотношение пигментов свидетельствует об интенсивной фотосинтетической деятельности фитопланктона. Косвенно это подтверждается и насыщенностью вод кислородом, которая в период проведения суточной станции составляла 110–130 % нас., а также показателями ППвал.

Попытка сопоставить значения хлорофиллов, биомассы, численности микроводорослей с приливным циклом показала, что их концентрации не зависят от фазы прилива. А с содержанием и насыщенностью вод кислородом находятся в противофазе.

### Выводы

В летний период в районе пролива Печакловская Салма отмечены высокие значения первичной продукции фитопланктона, сопоставимые с весенними.

Изменения качественного и количественного состава фитопланктона не имеют явно выраженных отличий в течение суток. Причиной этого, по всей вероятности, является довольно стабильный гидрологический и гидрохимический режим вод Печакловской Салмы в период наблюдений.

Для уточнения суточных и сезонных изменений фитопланктонного сообщества данного района потребуются дополнительные исследования.

### Литература

Македонская И.Ю., 2007. О сезонной и межгодовой динамике фитопланктона Печакловской Салмы Онежского залива Белого моря // Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря – Материалы X Международной конференции. г. Архангельск. С.154–158.

Чугайнова В.А., Македонская И.Ю., 2008. Сезонные изменения первичной продуктивности и хлорофилла «a» в районе Соловецких островов. // Морские прибрежные экосистемы: водоросли, беспозвоночные и продукты их переработки. Тезисы докладов 3-ой Международной научно-практической конференции. Владивосток: ТИНРО-центр. С.163–164.

Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана., 2003 г. М.: Издательство ВНИРО. –202 с.

Jeffrey S.W., Humphrey G.F., 1975. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton // Biochem. und Physiol. Pflanz. Bd. 167. № 2. P. 191–194.

## PHYTOPLANKTON PRIMARY EFFICIENCY IN PECHAKOVSKAJA SALMA BELT OF THE WHITE SEA DURING SUMMER PERIOD

V.A. Chugajnova, I.J. Makedonskaja

Northern Branch of PINRO, Arkhangelsk, Russia

e-mail: val@sevpinro.ru

Investigations of phytoplankton primary efficiency were spent on July 7–21, 2007 on SevPINRO permanent establishment in Pechakovskaja Salma belt, (Solovetskiye Islands) at daily stations (14 definitions of total primary efficiency in all). On our observations, values of total primary production (TPP) in Pechakovskaja Salma varied in a wide range – 0.33–1.65 mgO<sup>2</sup>/l/day (that corresponds 124 – 619 mgC/m<sup>3</sup>/day), average value has made 0.63 mgO<sup>2</sup>/l/day (256,4 mgC/m<sup>3</sup>/day). As a whole, total photosynthesis within 15 day changed in enough regular intervals, showing wavy character. Daily changes of number, a biomass and a complex of a dominating phytoplankton species also were exposed to some fluctuations. The biomass changed within the limits of from 94.8 up to 496.44 mkg/l, and number – from 4860 up to 18220 cells/l. Daily average values of number and a biomass have made 10277 cells/l and 311.21 mkg/l, accordingly.

# СТОЙКИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ СОЕДИНЕНИЯ В ЭКОСИСТЕМЕ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РЫБ И ВОДНЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ

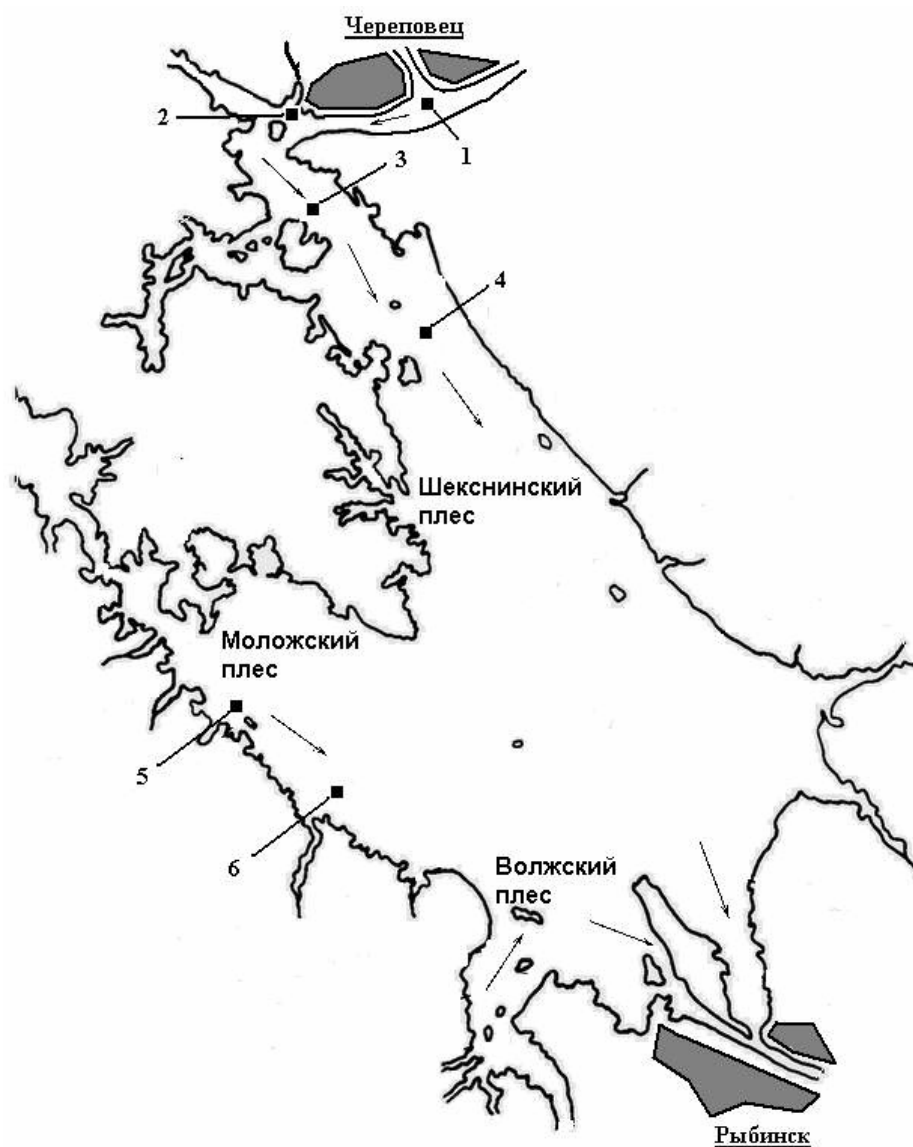
Г.М. Чуйко<sup>1</sup>, А.А. Морозов<sup>1</sup>, Е.С. Бродский<sup>2</sup>, А.А. Шелепчиков<sup>2</sup>, Д.Б. Фешин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Учреждение Российской академии наук Институт биологии внутренних вод  
им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Ярославская обл., Россия

<sup>2</sup> Учреждение Российской академии наук Институт проблем экологии и эволюции  
им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия  
e-mail: gko@ibiw.yaroslavl.ru

## Введение

В последние 30 лет при экологических исследованиях повышенное внимание уделяется группе стойких органических загрязнителей (СОЗ). СОЗ относятся к классу хлорорганических соединений и обладают рядом специфических свойств: биоаккумуляция за счет высокой липофильности; глобальная распространенность в окружающей среде; высокая стойкость к физическим, химическим и биологическим факторам; способность оказывать токсическое действие на организмы в крайне малых дозах. В 2001 г. в Стокгольме была принята и подписана Глобальная международная Конвенция о запрещении производства и использования СОЗ, к которой в 2002 г. присоединилась и Россия.



Хлорсодержащие пестициды (ХОП) и полихлорированные бифенилы (ПХБ) – наиболее распространенные группы СОЗ, которые в больших масштабах применялись с середины прошлого столетия в сельском хозяйстве и промышленности. В странах, подписавших конвенцию, использование и производство СОЗ в настоящее время запрещено. Однако эти соединения продолжают глобально циркулировать в водных экосистемах, в том числе и в России (Кленкин и др., 2008). В последние годы мониторинг ХОП в России проводится только для воды водных объектов, а для ДО и рыбы он носит нерегулярный характер. По ПХБ мониторинг вообще отсутствует.

Рыбинское водохранилище – один из крупнейших пресных водоемов в России. Однако исследования содержания ХОП в его ДО проводились лишь в Шекснинской части в черте г. Череповца (Колпакова и др., 1996), а их накопления в рыбе – в Моложской части (Майер и др., 1981). Данные по ПХБ представлены более полно. Ранее показано, что в экосистеме водохранилища присутствуют ПХБ, локальным источником которых является Череповецкий индустриальный комплекс (Чуйко и др., 2008). Однако их конгенерный состав до сих пор остается неисследованным. Не проводилась и оценка их экологического риска для водохранилища.

Цель работы – исследовать качественный состав и содержание ХОП и ПХБ в ДО и рыбе Рыбинского водохранилища, проанализировать источники их поступления и пространственного распределения, дать нормативную оценку уровней их аккумуляции.

### Материалы и методы

Пробы ДО и рыбы отбирались с экспедиционного судна в сентябре 2006 г. ДО брали с горизонта 0 – 20 см в трех повторностях с каждой точки с глубины 10–12 м на 6 станциях бывшего русла р. Шексны (ст. 1–4) и р. Мологи (ст. 5, 6). Выбор станций проводился с учетом гидрологических особенностей и расположения основного источника загрязнения в г. Череповце (рисунок). Образцы ДО отбирали коробчатым дночерпателем ДАК-250 с площадью захвата 0.4 м<sup>2</sup>. Интегральная проба грунта с каждой станции высушивалась на воздухе до постоянной массы. Измерения делались трижды, рассчитывались средние значения. Рыба, лещ (*Abramis brama* L.), отлавливалась донным тралом на станциях 2–6 по 10 экз., включавшие в равном соотношении особей обоего пола со средней длиной 358 мм и массой 853 г. Отбирались образцы дорсальных мышц массой 5 г с левой стороны тела. Пробы с каждой станции объединялись и из них готовился фарш. Для анализа использовалась объединенная навеска фарша массой 5 г. Содержание СОЗ определяли методом хромато-масс-спектрометрии высокого разрешения (Шелепчиков и др., 2008). Анализировались следующие ХОП: гексахлорбензол (ГХБ), дихлор-дифенилтрихлорэтан (ДДТ) и его метаболиты (ДДД и ДДЕ),  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ -изомеры 1,2,3,4,5,6-гексахлорциклогексана (ГХЦГ). При анализе ПХБ выделялись конгенеры со степенью хлорированности 3–7, обозначенные по системе ЮПАК: 28/31, 52, 101, 105, 118, 138, 153, 156, 157, 167 и 180.

### Результаты и их обсуждение

На всех станциях в ДО обнаружены СОЗ, среди которых в наибольшем количестве присутствуют ПХБ (Табл. 1).

Суммарное содержание ДДТ, ДДД и ДДЕ на порядок, а ГХБ на два порядка ниже, чем общая сумма ПХБ. В пространственном отношении все исследуемые СОЗ распределяются в ДО неравномерно. Их концентрации на ст. 1–3 выше, чем на ст. 4–6. Однако характер пространственного распределения разных СОЗ различается. Содержание ГХБ между станциями варьирует незначительно, содержание ДДТ и его метаболитов – в более широком диапазоне, а суммарное содержание ПХБ – еще в более широких пределах. Качественный состав ДДТ во всех образцах ДО одинаковый и представлен исходным веществом и его метаболитами. Однако их соотношение на разных участках водохранилища различается. На ст. 1–3 преобладают ДДТ и ДДД, суммарная доля которых составляет 80–90%. На ст. 4–6 их доля ниже и составляет 42–64%. Состав ПХБ в ДО на всех станциях представлен 3-, 4-, 5-, 6- и 7-хлорированными конгенерами (3-ХБ, 4-ХБ, 5-ХБ, 6-ХБ и 7-ХБ, соответственно). Доля низко и высоко хлорированных 3-ХБ и 7-ХБ в общем пуле ПХБ не превышает 6–10% и мало варьирует между станциями. Основная часть (88–95%) представлена 4-ХБ, 5-ХБ и 6-ХБ. Их соотношение на разных станциях различается. Доля 6-ХБ понижается от ст. 1 к ст. 6 с 50 до 9%, в то время как доля 4-ХБ повышается с 15 до 52%. 5-ХБ демонстрируют более сложную картину. На ст. 1 их

доля – 20%, на ст.2 и 3 она увеличивается до 50–55%, а на ст.4–6 опять снижается с 38 до 27%. По соотношению конгенов станции делятся на две группы: ст. 1–3, где преобладают 5-ХБ, 6-ХБ и 7-ХБ, и ст. 4–6, где высока доля 3-ХБ и 4-ХБ.

Таблица 1

Содержание ПХБ и ХОП (мкг/кг сухой массы) в ДО на разных участках Рыбинского водохранилища

Соединения	Станции					
	1	2	3	4	5	6
ПХБ-28/31	9.86	17.44	<4.00	<4.00	1.04	4.37
3-ХБ (сумма)	14.87	26.25	<6.00	<8.00	1.82	5.28
ПХБ-52	3.65	13.54	3.87	2.14	1.87	3.28
4-ХБ (сумма)	21.61	71.21	17.08	11.23	11.56	23.79
ПХБ-101	3.13	28.88	8.04	1.60	1.54	1.82
ПХБ-105	2.89	24.17	9.74	0.69	0.24	0.57
ПХБ-118	5.93	46.70	18.44	1.72	0.92	1.33
5-ХБ (сумма)	29.18	214.92	83.14	10.59	7.68	12.47
ПХБ-138	3.05	23.29	12.15	1.05	0.56	0.81
ПХБ-153	3.13	25.65	10.67	1.24	0.72	0.93
ПХБ-156	0.54	5.03	2.04	0.13	0.04	0.09
ПХБ-157	0.15	0.94	0.61	0.04	<0.02	0.02
ПХБ-167	0.16	0.90	0.71	0.09	<0.02	0.30
6-ХБ (сумма)	73.65	92.79	44.26	4.41	2.48	3.63
ПХБ-180	1.03	7.30	0.51	0.39	0.34	0.32
7-ХБ (сумма)	3.47	20.41	10.47	1.56	1.25	1.38
Общая сумма ПХБ	142.78	425.59	154.95	27.79	24.78	46.56
ДДЕ	2.40	5.50	2.67	1.68	1.36	1.98
ДДТ+ДДД	11.25	21.61	23.99	2.92	0.94	2.47
Сумма ДДТ, ДДД и ДДЕ	13.65	27.11	26.66	4.60	2.30	4.46
ГХБ	0.78	0.83	0.36	0.49	0.34	0.44

В России нормы содержания СОЗ в ДО отсутствуют, хотя в других странах они имеются. Например, согласно канадскому природоохранному законодательству временные безопасные нормы (interim freshwater sediment quality guidelines, ISQG) и возможные действующие уровни (probable effect levels, PEL) для ДО пресноводных экосистем равняются (ISQG/PEL): ДДТ – 1.19/4.77, ДДД – 3.54/8.51, ДДЕ – 1.42/6.75, сумма ПХБ – 34.1/277 мкг/кг сухой массы (Canadian Council..., 2002). Для ГХБ нормативы не установлены. Полученные результаты показывают, что содержание ДДТ и его метаболитов в районе г. Череповца на ст. 1–3 превышает допустимые суммарные значения ISOG (6.15 мкг/кг) в 2–4 раз, а на ст.2 и 3 – даже превышает в 1.5 раза значения PEL. Для ПХБ превышение безопасных уровней ISOG на ст.1 и 3 около 4.5 раза, а на ст.2 оно достигает 12 раз. Значения PEL на этой станции превышены в 1.5 раза. На остальных исследованных участках водохранилища уровни ДДТ и ПХБ для обоих показателей находятся ниже или чуть выше (ст.6) нормативных.

В мышцах леща также обнаружены СОЗ, среди которых на всех станциях, за исключением ст.6, преобладают ПХБ (Табл. 2). Содержание ХОП на один-два порядка ниже.

В пространственном отношении СОЗ в мышцах леща распределяются на разных станциях неравномерно. Их концентрации на ст.2 и 3 выше, чем на ст. 4–6. Максимальные значения – на ст.2 или 3, минимальные – на ст.5 или 6, в зависимости от СОЗ. Состав изомеров ГХЦГ во всех образцах мышц представлен  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -ГХЦГ. Их соотношение в пробах из разных участков близкое. Доля  $\alpha$ -ГХЦГ составляет 16–38%,  $\beta$ -ГХЦГ – 30–56% и  $\gamma$ -ГХЦГ – 19–33%. Соотношение ДДТ и его метаболитов в пробах на разных станциях одинаковое: сумма ДДТ и ДДД составляет 67–71%, ДДЕ – 29–33%. Состав ПХБ представлен 3-ХБ, 4-ХБ, 5-ХБ, 6-ХБ и 7-ХБ, однако между станциями он заметно варьирует. На ст. 2–4 профиль ПХБ в целом сходный. Доля 3-ХБ составляет 0–10%, доля 7-ХБ – 7–9 %. Основная часть (80–92%) представлена 4-ХБ, 5-ХБ и 6-ХБ. Их соотношение немного меняется от ст.2 к ст.4: доля 5-ХБ снижается с 47 до 35%, 4-ХБ возрастает с 17 до 23%, а 6-ХБ остается неизменной на уровне 25–28%. На ст. 5 ПХБ представлены 3-ХБ и 4-ХБ в соотношении 29 и 71%, а на ст. 6 обнаруживаются лишь 5-ХБ.



Таблица 2

**Содержание ПХБ и ХОП (мкг/кг сырой массы) в мышцах леща на разных участках Рыбинского водохранилища**

Соединения	Станции				
	2	3	4	5	6
ПХБ-28/31	<3.00	0.54	1.12	1.90	<2.00
3-ХБ (сумма)	<6.00	1.31	2.32	1.05	<5.00
ПХБ-52	0.64	1.04	0.45	<0.50	<0.50
4-ХБ (сумма)	8.72	8.91	5.14	2.60	<2.50
ПХБ-101	3.15	2.64	1.14	<0.50	<0.50
ПХБ-105	2.70	1.75	0.66	0.09	0.05
ПХБ-118	6.26	5.10	1.93	0.04	0.09
5-ХБ (сумма)	23.77	19.95	7.55	0.14	0.14
ПХБ-138	3.96	3.97	1.49	<0.40	<0.40
ПХБ-153	4.29	4.76	1.81	<0.40	<0.40
ПХБ-156	0.25	0.31	0.08	<0.05	<0.05
ПХБ-157	0.65	0.66	0.25	<0.05	<0.05
ПХБ-167	0.14	0.08	0.03	<0.05	<0.05
6-ХБ (сумма)	14.43	13.87	5.40	<1.90	<1.70
ПХБ-180	1.37	1.69	0.64	<0.20	<0.20
7-ХБ сумма	3.85	4.15	1.54	<1.00	<1.00
Общая сумма ПХБ	50.76	48.19	21.95	3.65	0.14
ДДЕ	2.24	1.66	0.93	0.82	0.53
ДДТ+ДДД	4.57	3.62	1.99	1.99	1.30
Сумма ДДТ, ДДД и ДДЕ	6.80	5.28	2.92	2.80	1.82
$\alpha$ -ГХЦГ	0.57	0.51	0.39	0.19	0.23
$\beta$ -ГХЦГ	1.46	0.43	1.40	0.28	0.32
$\gamma$ -ГХЦГ	0.57	0.46	0.55	0.18	0.13
Сумма изомеров ГХЦГ	2.60	1.39	2.34	0.64	0.67
ГХБ	0.19	0.41	0.29	0.17	0.06

Обнаруженные уровни суммарного содержания ХОП (ДДТ и ГХЦГ) в мышцах леща близки к аналогичным показателям, зарегистрированным в тот же период в Азовском море у судака (2–6 мкг/кг сырой массы), и в несколько раз ниже, чем у осетровых рыб (8–99 мкг/кг) (Клёнкин и др., 2008). Это значительно ниже величин максимально допустимых уровней (МДУ), установленных в России для ДДТ и ГХЦГ в пресноводной рыбе – 300 и 30 мкг/кг сырой массы, соответственно (Гигиенические нормативы..., 1996). Канадские нормативы остаточного содержания суммы ДДТ и его метаболитов в тканях рыбы, опасные для её потребителей, составляют 14 мкг/кг сырой массы (Canadian Council..., 2001). Тридцать лет назад (1978 г.) содержание ДДТ (с метаболитами) и линдана ( $\gamma$ -ГХЦГ) на ст. 5–6 в другом виде бентофаге, плотве (*Rutilus rutilus* L), в расчете на целую рыбу было 18–21 и 4–8 мкг/кг сырой массы, соответственно (Майер и др., 1981). Это в 6–12 раз выше того, что сейчас наблюдается в леще в этом районе, и в 1.5–3 раза выше того, что обнаруживается в районе г. Череповца. Эти данные позволяет говорить о снижении за прошедший период нагрузки ДДТ и ГХЦГ на экосистему водохранилища. Однако высокая суммарная доля ДДТ и ДДД как в мышцах рыб (около 70%), так и в ДО (40–90%) свидетельствует о достаточно свежем поступлении пестицида в экосистему водохранилища.

В отличие от ХОП содержание ПХБ в мышцах леща заметно выше (50.762 мкг/кг), чем у азовоморских судака (<1–8.8 мкг/кг) и осетровых (<1–30 мкг/кг) (Клёнкин и др., 2008). По гигиеническим нормативам РФ величина МДУ в пресноводной рыбе и рыбопродуктах для общего содержания ПХБ установлена в 300 мкг/кг сырой массы (Гигиенические нормативы..., 1996). Причем этот норматив рассчитан для суммы производных ПХБ и ХОП. Российские нормативы по содержанию отдельных конгенов ПХБ отсутствуют. Суммарное содержание ХОП и ПХБ в мышцах леща из наиболее загрязненного участка водохранилища (ст.2) около 60 мкг/кг. Это в 5 раз ниже установленных в России норм. Однако канадские нормативы опасного для потребителей остаточного содержания ПХБ в рыбе, рассчитанные с учетом фактора токсической эквивалентности ВОЗ (WHO-

TEFs) и токсических эквивалентов (TEQ) отдельных конгенов, составляют 0.79 нг TEQ/кг сырой массы (Canadian Council..., 2002). В мышцах леща обнаружено 5 наиболее токсичных конгенов ПХБ, для которых известны значения WHO-TEFs: 105, 118, 156, 157 и 167. Исходя из их содержания в мышцах, расчетные значения суммарных TEQ составили для рыбы на ст. 2, 3 и 4 соответственно 1.35, 1.17 и 0.42 нг TEQ/кг сырой массы. На ст.5 и 6 значения TEQ были на два порядка ниже. Полученные данные показывают, что в зоне влияния череповецкого индустриального комплекса (ст.2,3) содержание ПХБ в мышцах леща превышает безопасный для потребителей уровень в 1.5–2 раза. На остальных участках водохранилища их содержание существенно ниже этого уровня.

Т.о., установлено, что в экосистеме Рыбинского водохранилища присутствуют ХОП и ПХБ. Их качественный состав и содержание носят пространственно неоднородный характер, что свидетельствует о локальном источнике поступления. Несмотря на запрет в СССР, а затем в России, производства и применения ХОП и ПХБ, их уровень в отдельных районах водохранилища остается достаточно высоким. Максимальные уровни содержания этих СОЗ обнаруживаются в ДО и рыбе в зоне влияния Череповецкого индустриального комплекса. Содержание СОЗ в этом районе водохранилища в ДО достигает уровней, при котором они могут влиять на жизнедеятельность гидробионтов, а в рыбе – представлять опасность здоровью для ее потребителей.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 08-05-00805).*

### Литература

Гигиенические нормативы содержания пестицидов в объектах окружающей среды, 1996. ГН 1.1.546–96. Утверждены Постановлением Госкомсанэпиднадзора России от 25 сентября 1996 г. N 19.

Клёткин А.А., Короткова Л.И., Корпакова И.Г., Корниенко Г.Г., 2008. Хлорорганические пестициды и полихлорбифенилы в промысловых рыбах Азовского моря // *Вопр. рыбол.* Т. 9, № 2(34). С. 495–502.

Колпакова Е., Лулоф И., Руттемаан Й., 1996. Проект «Волга в Череповце». Отчет об исследованиях, проведенных в г.Череповце в августе 1995 г. Н.Новгород: Экоцентр «Дронт». 23 с.

Майер Ф.Л., Пети Дж.Д., Козловская В.И., Флеров Б.А., 1981. Определение остаточных количеств пестицидов в рыбах Рыбинского водохранилища // *Гидробиол. ж.* Т. 17, № 5. С. 83–87.

Чуйко Г.М., Законнов В.В., Герман А.В., Бродский Е.С., Шелепчиков А.А., Фешин Д.Б., Тиллитт Д.Э., 2008. Распределение полихлорированных бифенилов в экосистеме Рыбинского водохранилища при их локальном поступлении // Современное состояние водных биоресурсов: материалы научной конференции, посвященной 70-летию С.М. Коновалова. Владивосток: ТИНРО-центр. С. 680–685.

Шелепчиков А.А., Бродский Е.С., Фешин Д.Б., Жильников В.Г., 2008. Определение полихлорированных бифенилов и пестицидов в объектах окружающей среды и биоматериалах методом хроматомасс-спектрометрии высокого разрешения // *Масс-спектрометрия.* Т. 5, № 4. С. 245–258.

Canadian Council of Ministers of the Environment, 2001. Canadian tissue residue guidelines for the protection of consumers of aquatic biota: Summary tables. Updated. In: Canadian environmental quality guidelines. 1999. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.

Canadian Council of Ministers of the Environment, 2002. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: Summary tables. Updated. In: Canadian environmental quality guidelines. 1999. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.

## КОРРЕЛЯЦИЯ БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ С ЛИНЕЙНО-ВЕСОВЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ОСОБЕЙ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ РЫБ

**М.В. Чурова<sup>1</sup>, О.В. Мешерякова<sup>1</sup>, М.И. Шатуновский<sup>2</sup>, Н.Н. Немова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Учреждение Российской академии наук Институт биологии  
Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск, Россия

<sup>2</sup> Учреждение Российской академии наук Институт проблем эволюции и экологии  
Им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва, Россия  
e-mail:mchurova@yandex.ru

### Введение

Рост – важный аспект в оценке общего состояния популяции рыб и каждой особи в отдельности. Существует много способов оценки роста рыб от традиционных и прямых измерений, таких как изменение длины, веса, к более современным, например, изучение уровня экспрессии генов. Исследования последних лет (Nevroy et al., 2006; Overturf, Hardy, 2001, Pelletier et al., 1995; Tripathi

and Verma, 2004; Vinagre et al., 2008) показывают, что в оценке скорости роста рыб могут быть использованы активность ферментов энергетического и пластического обмена, экспрессия генов миозина и некоторых ферментов, показатель РНК/ДНК.

В данной работе мы изучали взаимосвязь линейно-весовых характеристик особей форели, ряпушки, беломорки с уровнем их некоторых биохимических показателей. Определялись следующие показатели: соотношение РНК/ДНК, уровень экспрессии генов тяжелой цепи миозина и цитохром с оксидазы (только для форели), активность некоторых ферментов углеводного и энергетического обмена.

### Материалы и методы

Исследовали особей разных возрастных групп ряпушки *Coregonus albula* L. (оз. Сямозеро, Республика Карелия), беломорки *Clupea harengus pallasii* natio maris-albi Berg (Белое Море), форели *Parasalmo mykiss* Walb (форелевое хозяйство, Онежское озеро). У каждой особи определяли длину тела по Смитту (АС), общий вес (массу) тела. Общую активность ферментов лактатдегидрогеназы (ЛДГ, 1.1.1.27), глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы (Г-6-ФДГ, 1.1.1.49) и 1-глицерофосфатдегидрогеназы (1-ГФДГ, 1.1.1.8) определяли в мышцах и печени рыб по общепринятым методикам (Кочетов, 1980). Активность цитохром с оксидазы (ЦО, КФ 1.9.3.1.) определяли по методике Smith (Smith, 1955), при этом цитохром с восстанавливали двукратным по массе количеством аскорбиновой кислоты в 0.02 М фосфатном буферном растворе (рН 7.0) в течение 2 часов и затем на колонке с сефадексом G-25 выделяли в восстановленной форме свободным от избытка восстановителя.

Тотальную РНК выделяли из белых мышц с помощью набора «для выделения тотальной РНК Yellow Solve» (Клоноген, г. Санкт-Петербург). ДНК белых мышц выделяли методом Альянби и Мартинеса (Aljanabi and Martinez, 1997). Концентрации РНК и ДНК определяли спектрофотометрически. Уровень экспрессии генов тяжелой цепи миозина и цитохром с оксидазы определяли в белых мышцах методом полимеразной цепной реакции в режиме реального времени (ПЦР). Тотальную РНК обрабатывали ДНКазой (10 ед/мл) (Силекс). Комплементарную ДНК (кДНК) синтезировали из препарата тотальной РНК с использованием MMLV-обратной транскриптазы и случайных гексонуклеотидов (набор «Синтез первой цепи ДНК», Силекс). Амплификацию проводили на приборе i-Cycler с оптической приставкой IQ5 (BioRad, США) с использованием реакционной смеси 2,5x для проведения ПЦР-РВ в присутствии интеркалирующего красителя SYBR Green I (Синтол). Праймеры для актина и тяжелой цепи миозина подбирали с помощью программы Beacon Designer 5.0. Последовательности праймеров следующие: миозин (MyHC) (GenBank Z48794) прямой 5'-GCTGAGAAGGACGAGGAGATG-3', обратный 5'-GCCTGCCTGTTGGAGTGG-3';  $\beta$ -актин (GenBank AJ438158) прямой 5'-TGGACTTTGAGCAGGAGATGG-3', обратный 5'-TCGTGGATACCGCAAGACTC-3'. Последовательность олигонуклеотидов для амплификации гена цитохром с оксидазы (COX4): прямой 5'-TACGTGGGGGACATGGTGT-3', 5'-CCCAGGAGCCCTTCTCCTTC-3' (Koltitz C. et al., 2008). Протокол ПЦР: денатурация ДНК при 95°C 5 мин; повторяющиеся циклы (50): денатурация ДНК при 95°C 20 с, отжиг праймеров при 59°C по 30 с, элонгация ДНК при 72°C по 30 с. После ПЦР проводили процедуру плавления фрагментов ДНК (с 59 до 95°C с шагом 0,5°C). Концентрацию матричной РНК в виде кДНК определяли по стандартной кривой. Уровень экспрессии исследуемых генов нормализовали по уровню экспрессии референсного гена  $\beta$ -актина. Данные выражались как отношение концентрации мРНК исследуемого гена к концентрации мРНК  $\beta$ -актина, умноженное на константу (100) для удобства интерпретации данных.

Различия в активности ферментов и других показателей оценивали по критерию *T* Стьюдента. Различия считали достоверными при  $p < 0,05$ . Коэффициенты корреляции между сравниваемыми показателями определяли по Пирсону и Спирмену.

### Результаты и обсуждение

В таблице 1 приведены характеристики выборок исследуемых видов рыб.

Показатель РНК/ДНК. Количественное определение нуклеиновых кислот в скелетных мышцах и отношение РНК/ДНК используется как показатель скорости роста на ранних стадиях развития пресноводных и морских рыб в зависимости от влияния различных условий (питание, стресс, чис-

тота водоема и др.) и возраста. Он показывает, как меняется уровень клеточной РНК и, соответственно синтез белка, при постоянной концентрации ДНК в клетке (Vinagre et al., 2008; Grant, 1996).

Таблица 1

**Ихтиологические показатели исследуемых видов рыб**

Показатели	Ряпушка	Беломорка	Форель
Количество особей	45	23	60
Возраст	0+, 2+, 3+	3+	1+, 2+
Длина (АС), см min-max	12,2–19,3	13,1–16,3	18,0–54,6
Вес Q, г min-max	22,6–99,7	20,9–41,7	75,9–2397,1

Результаты нашего исследования показали отрицательную корреляцию показателя РНК/ДНК с размерами рыб. При этом у форели наиболее сильная корреляция отмечается в возрасте 1+ (табл. 2). Для ряпушки значения коэффициента корреляции РНК/ДНК с длиной тела и весом составили (–0,53) и (–0,48), соответственно. Такая зависимость свидетельствует о том, что относительная скорость роста крупных рыб меньше, чем у мелких, что согласуется с литературными данными, полученными для трески (Buckley, Lough, 1987) и сайды (Houlihan et al., 1993). На наш взгляд это связано с тем, что в процессе роста животного и увеличения его массы происходит снижение скорости ростовых процессов. Снижение темпов роста при увеличении размеров тела показано для всех групп позвоночных животных (Дгебуадзе, 2001).

Таблица 2

**Значения коэффициентов корреляции между линейно-весовыми и некоторыми биохимическими показателями особей радужной форели двух возрастов**

Линейно-весовые показатели	Значения коэффициентов корреляции					
	РНК/ДНК		Экспрессия гена миозина		Экспрессия гена цитохромоксидазы	
	1+	2+	1+	2+	1+	2+
Вес	–0,43*	0,54	0,54*	0,69*	0,51*	0,13
Длина	–0,50*	0,52	0,52*	0,74*	0,61*	0,06

\* – достоверность значения коэффициента корреляции.

Соотношение линейно-весовых показателей форели с индексом РНК/ДНК указывает на то, что этот показатель можно использовать в оценке скорости роста только молоди форели, так как достоверная корреляция была обнаружена только у двухлеток (1+). Вероятно, это связано с тем, что в ранние периоды онтогенеза рыб протекают, главным образом, процессы дифференциации клеток мышечной ткани, что, в частности, показано на заводской молоди семги (Лебская, Зайцев, 1985). В более старшем возрасте усиливаются процессы гипертрофии и массанокпления. Таким образом, отсутствие зависимости между индексом РНК/ДНК и линейно-весовыми параметрами у трехлеток (2+) указывает на то, что в этом возрасте синтез белка в мышцах связан не столько с процессом дифференциации клеток мышечной ткани и ростом тела рыб, сколько с другими функциями мышечного белка и, вероятнее всего, с сократительной.

**Уровень экспрессии гена тяжелой цепи миозина (MyHC)**

Согласно ряду исследовательских работ, экспрессия гена тяжелой цепи миозина положительно коррелирует с темпом роста радужной форели и других видов рыб, тем самым, делая возможным использование этого показателя в качестве маркера для мышечного роста (Overturf, Hardy, 2001; Dhillon et al., 2008).

Наши исследования показывают, что показатель экспрессии гена миозина, в отличие от индекса РНК/ДНК является более точным и удобным критерием изменчивости линейно-весовых характеристик и индикатором темпа роста форели. Этот показатель положительно коррелирует с весом и длиной рыб независимо от их возраста и пола (табл. 2). Следует отметить также, что у исследованной форели экспрессия гена миозина увеличивалась с возрастом, что подтверждает наши предположения о том, что у трехлеток форели (2+) прирост скелетной мускулатуры и массанакпление происходит более интенсивно, чем у двухлеток (1+).

#### Активность фермента цитохром с оксидазы

При исследовании активности ЦО в белых мышцах форели было обнаружено, что активность фермента достоверно положительно коррелировала с весом и длиной рыб (табл.3), однако у рыб более старшего возраста в некоторой степени снижалось значение коэффициентов. Такая же зависимость была показана нами и на ряпушке (Мещерякова и др., 2008).

Анализ полученных нами данных (табл. 2) по экспрессии гена цитохром оксидазы в белых мышцах форели показал, что для двухлеток (1+) уровень экспрессии гена ЦО положительно коррелирует с показателями веса и длины особей обоих полов. Для трехлеток форели (2+) не установлено корреляции этого показателя с линейно-весовыми характеристиками рыб, что указывает на важность аэробного метаболизма в росте и развитии рыб на самых ранних этапах онтогенеза.

Особо важное значение аэробный метаболизм имеет для клеток печени рыб. Здесь тесно переплетаются метаболические пути углеводного, липидного и белкового обмена, синтезируются различные соединения для пластического и энергетического обмена, осуществляется детоксикационная функция. Энергообеспечение клеток печени осуществляется главным образом за счет аэробного синтеза АТФ. Следует отметить, что в печени ряпушки и беломорки высокие показатели веса и размера положительно коррелировали с активностью ЦО. Для ряпушки значения корреляции ЦО с весом составили (+0,67), с длиной (+0,63); для беломорки (+0,61) и (+0,76), соответственно. Поэтому активность этого фермента можно использовать в оценке энергообеспечения печени, ее функциональной активности и общего состояния организма.

#### Активность фермента лактатдегидрогеназы

Активность фермента ЛДГ в белых мышцах рыб связана с участием в анаэробном гликолизе, который является главным процессом энергообеспечения при интенсивных сокращениях мышц. Если оценивать темпы прироста мышечной массы и тип двигательного режима особей, то наибольшая скорость прироста мышечной массы у рыб и других позвоночных наблюдается при выполнении кратковременных силовых сокращений (Иванов и др., 1977; Аминев и др., 1984). Данные корреляционного анализа между показателями веса, длины и активностью фермента показали, что самые крупные особи форели имели наибольшую активность ЛДГ, причем достоверная корреляция отмечалась для всех возрастов (табл.3). Для ряпушки установлены такие же зависимости (Мещерякова и др., 2008). Поскольку достоверная корреляция ЛДГ с весом была выражена сильнее, чем с длиной тела, это указывает на более сильную связь этого показателя с приростом мышечной массы, чем с увеличением длины тела рыб. Обнаруженные возрастные различия этого показателя вместе с данными о разном уровне экспрессии миозина у двух- и трехлеток форели подтверждают наши предположения о том, что скорость прироста мышечной массы у форели в возрасте 2+ выше, чем в возрасте 1+.

Таблица 3

#### **Значения коэффициентов корреляции между линейно-весовыми показателями и активностью ферментов в органах форели**

Линейно- весовые показатели	Значения коэффициентов корреляции							
	с ферментами белых мышц				с ферментами печени			
	ЦО		ЛДГ		1-ГФДГ		Г-6-ФДГ	
	1+	2+	1+	2+	1+	2+	1+	2+
Вес	0,78*	0,51*	0,69*	0,64*	0,54*	0,75*	0,87*	0,93*
Длина	0,65*	0,52*	0,45*	0,53*	0,49	0,41	0,53*	0,34

\* – достоверность значения коэффициента корреляции.

Таблица 4

#### **Значения коэффициентов корреляции между линейно-весовыми показателями и активностью 1-глицерофосфатдегидрогеназы и глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы в печени ряпушки**

Линейно-весовые показатели	Значения коэффициентов корреляции					
	1-ГФДГ			Г-6-ФДГ		
	0+	2+	3+	0+	2+	3+
Вес	0,64*	0,65*	0,69 *	0,69*	0,73*	0,78*
Длина	0,50*	0,53*	0,54	0,55*	0,59	0,59

\* – достоверность значения коэффициента корреляции

#### Активность ферментов 1-глицерофосфатдегидрогеназы и глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы

Важнейшую роль в процессах роста и развития организма рыб, особенно в раннем онтогенезе играет печень. Роль фермента 1-ГФДГ в печени связана, главным образом, с процессом синтеза глицерофосфата из углеводов, который используется для синтеза структурных и запасных липидов (Harmon, Sheridan, 1992). Фермент Г-6-ФДГ участвует в функционировании пентозофосфатного пути, посредством которого образуются пентозы, использующиеся в синтезе нуклеиновых кислот, и генерируется восстановитель в форме НАДФН, использующийся в реакциях биосинтеза стероидов и жирных кислот (Tripathi, Verma, 2004). Таким образом, указанные ферменты печени играют важную роль в процессах пластического обмена, синтезе структурных и запасных липидов. По результатам нашего исследования в печени форели и ряпушки была отмечена положительная корреляция между показателями веса, длины и активностью ферментов 1-ГФДГ и Г-6-ФДГ (табл.3 и табл.4). Особенно высокие значения коэффициентов корреляции, увеличивающиеся с возрастом, наблюдаются между активностью этих ферментов и весом рыб. Это, скорее всего, связано с усилением синтеза и накоплением запасных веществ с возрастом.

#### **Заключение**

Таким образом, в результате исследований были установлены взаимосвязи некоторых биохимических параметров с линейно-весовыми характеристиками рыб. Согласно полученным данным, показатель РНК/ДНК отрицательно коррелирует с длиной и весом рыб, что указывает на снижение скорости ростовых процессов с увеличением размеров тела. Наблюдаемая положительная корреляция активности ЦО мышц и печени с размерами рыб позволяет заключить о значимости аэробного метаболизма в процессах роста, особенно на первых стадиях жизни. С увеличением веса в печени рыб увеличивается активность ферментов 1-ГФДГ и Г-6-ФДГ, что указывает на интенсификацию процессов липогенеза. Активность ЛДГ положительно коррелирует с размерами тела рыб. Уровень экспрессии гена тяжелой цепи миозина коррелирует с размерами особей форели. Установленное увеличение экспрессии гена миозина с длиной и весом форели позволяет заключить об усилении прироста мышечной массы в возрасте 2+.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ «Ведущие научные школы России» НШ-306.2008.4; гранта РФФИ 08-04-01140, программы ОБН РАН «Биологические ресурсы России».*

#### **Литература**

- Аmineva B. A., Yrzhombek A. A., 1984. Физиология рыб. М.: Легкая и пищевая промышленность. 200 с.
- Дгебуадзе Ю. Ю., 2001. Экологические закономерности изменчивости роста рыб. М.: Наука. 276 с.
- Иванов И. И. Коровкин Б. Ф., Пинаев Г. П., 1977. Биохимия мышц. М.: Медицина. 344 с.
- Кочетов Г.А., 1980. Практическое руководство по энзимологии. М.: Высшая школа. 272 с.
- Лебская Т.К., Зайцев В.Б. 1985. Ультраструктура белой скелетной мускулатуры молоди семги (*Salmo salar* L.), выращиваемой на рыбноводном заводе. – В кн.: Проблемы биологии и экологии атлантического лосося. Л.: Наука, С. 34–45.
- Мещерякова О.В., Чурова М.В., Немова Н.Н. 2008. Биохимические методы оценки роста и развития рыб. Корреляции активности некоторых ферментов метаболизма с показателями веса и роста особей и у разных возрастных групп ряпушки оз. Сямозеро (Республика Карелия) // Организмы, популяция, экосистемы: проблемы и пути сохранения биоразнообразия: Материалы всероссийской конференции с международным участием «Водные и наземные экосистемы: проблемы и перспективы исследований». Вологда. С.71–75.
- Aljanabi S. M., Martinez I., 1977. Universal and rapid salt-extraction of high quality genomic DNA for PCR-based techniques // Nucleic Acid Res. V.25. P.4692–4693.
- Buckley L. G., Lough R. G., 1987. Recent growth, biochemical composition and prey field of larval haddock, *Melanogrammus aeglefinus* and Atlantic cod, *Gadus morhua* on Georges Bank // Can.J.Fish.aquat.Sci. V.44. P.4–25.
- Dhillon R. S., Wang Y., Tufts B. L., 2008. Using molecular tools to assess muscle growth in fish: Applications for aquaculture and fisheries management // Comparative Biochemistry and Physiology. Part C: Toxicology and Pharmacology. V.148. P.452.
- Grant G. C. 1996., RNA-DNA ratios in white muscle tissue biopsies reflect recent growth rates of adult brown trout // Journal of Fish Biology. N48. P.1223–1230.
- Harmon J. S., Sheridan M. A., 1992. Glucose-stimulated lipolysis in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) liver // J. Fish Physiol. and Biochem. V. 10. P.189–199.]

Hevroy E.M., Jordal A-E.O., Hordvik I., Espe M., Hemre G-I., Olsvik P.A. 2006. Myosin heavy chain mRNA expression correlates higher with muscle protein accretion than growth in Atlantic salmon, *Salmo salar* // Aquaculture. V. 252. P.453–461.

Houlihan D.F., Mathers E.M., Foster A., 1993. Biochemical correlates of growth rate in fish // Fish Ecophysiology / J.C. Rankin, F.B. Jensen. – London UK. Chapter 2. P.45 – 71.

Koltitz C., Borthaire M., Richart N., Corraze G., Panserat S., Vachot C., Lefevre F., Medale F., 2008. Liver and muscle metabolic changes induced by dietary energy content and genetic selection in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol. V.294. P.1154–1164.

Overturf K., Hardy R., 2001. Myosin expression levels in trout muscle: a new method of monitoring specific growth rates for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) on varied planes of nutrition // Aquat. Res. V.32. P.315–322.

Pelletier D., Blier P., Dutil J.D., Guderley H. 1995. How should enzyme activities be used in fish growth studies? // J. Exp. Biol. V.198. P.1493–1500.

Smith L., 1995. Spectrophotometric assay of cytochrome c oxidase // Methods in Biochem. Analysis. V.2. P.427–434.

Tripathi G., Verma P., 2004. Sex-specific metabolic changes in the annual reproductive cycle of a freshwater catfish // Comparative Biochemistry and Physiology. Part B: Biochemistry and Molecular Biology. V.137. P.101–106.

Tripathi G., Verma P., 2004. Scaling effects on metabolism of a teleost // Journal of Experimental zoology. V.301A. P.718–716.

Vinagre C., Fonseca V., Maia A., Amara R., Cabral H., 2008. Habitat specific growth rates and condition indices for the sympatric soles *Solea solea* (Linnaeus, 1758) and *Solea senegalensis* (Kaup, 1858), in the Tagus estuary, Portugal, based on otolith daily increments and RNA-DNA ratio // Journal of Applied Ichthyology. V.24 P.163–169.

## **CORRELATION OF BIOCHEMICAL PARAMETERS AND SIZES OF INDIVIDUALS OF SEVERAL FISH SPECIES**

**M.V. Churova<sup>1</sup>, O.V. Mescherjakova<sup>1</sup>, M.I. Shatunovsky<sup>2</sup>, N.N. Nemova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institute of biology of Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

<sup>2</sup>Severtsov Institute of Ecology and Evolution of RAS, Moscow, Russia

e-mail: mchurova@yandex.ru

The present study was designed to elucidate the relationship the several biochemical parameters with weight and length of fish. We studied the RNA/DNA ratio, expression of Myosin hard chain gene, activities of cytochrome c oxidase (CCO), lactate dehydrogenase (LDH), glucose-6-phosphate dehydrogenase (G6PDH) and 1-glycerophosphate dehydrogenase ( $\alpha$ GPDH) in whitefish, White Sea herring and rainbow trout.

## **ИНДИКАТОРНАЯ РОЛЬ ФИТОПЛАНКТОНА В ОЦЕНКЕ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КАЧЕСТВА ВОД БОЛЬШИХ ОЗЕР ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА**

**А.Н. Шаров**

Учреждение Российской академии наук Институт водных проблем РАН,

г. Москва, Россия

e-mail: sharov\_an@mail.ru

Сообщества пресноводного фитопланктона обладают относительно высокой чувствительностью к загрязнению, оцениваемому по химическим показателям качества вод. Кроме того, водоросли имеют высокую скорость воспроизводства, что позволяет быстро реагировать на изменяющиеся условия среды [Барина и др., 2006]. Изучению особенностей развития фитопланктона в условиях антропогенного эвтрофирования озер посвящено много работ [Петрова, 1990; Трифонова, 1990]. Разработаны шкалы классификации трофического состояния водоемов по фитопланктону [Трифопова, 1990; Tikkanen, 1986]. Биоиндикационные аспекты экологии водорослей изучены достаточно полно [Барина и др., 2006]. Наибольший интерес для оценки состояния водных экосистем представляют долговременные исследования сообществ в изменяющихся условиях среды обитания.

Цель данной работы – оценить долговременные изменения структурных характеристик фитопланктонных сообществ больших озер Европейского Севера России в условиях изменения качества вод при их антропогенном эвтрофировании, загрязнении тяжелыми металлами и органическими соединениями, поступающими со сточными водами городов, горнодобывающих и горноперерабатывающих предприятий (оз. Имандра, оз. Умбозеро) и целлюлозобумажного комбината (оз. Онежское).

### Материалы и методы

Материалом для работы послужили результаты исследований автора с 1993 по 2007 гг. трех крупных водоемов Севера европейской части России: оз. Онежское (Карелия), оз. Имандра и оз. Умбозеро (Кольский п-ов).

Природные особенности региона обуславливают олиготрофное состояние водной среды. Условия формирования качества вод на участках, удаленных от промышленных предприятий, считали близкими к природным (фоновым). В природно-чистых районах содержание общего фосфора  $P_{\text{общ}}$  в воде в среднем составляет 6, общего азота  $N_{\text{общ}}$  – 70–80 мкг/л (табл. 1). Поступление хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод городов Петрозаводск, Кондопога, Апатиты и Мончегорск увеличивают содержание  $P_{\text{общ}}$  в воде до 70 мкг/л (табл. 1). Несмотря на то, что в непосредственной близости с оз. Умбозеро разрабатываются месторождения фосфорсодержащих руд, дополнительного обогащения вод фосфором не отмечается, сохраняется природное состояние (табл. 1), и фосфор остается лимитирующим показателем продуктивности водоема. Повышенное содержание в воде азота является, очевидно, следствием ведения взрывных работ.

Наблюдения на оз. Имандра проводили в 1993–2006 гг. преимущественно в летний период (июль–август) по всей акватории озера на 24 станциях. Исследование оз. Умбозеро – август 1994 и 2007 гг. На оз. Онежское отбор проб проводился в период открытой воды в 2001–2006 гг. на 43 станциях.

Отбор проб фитопланктона, фиксация и дальнейшая обработка проводилась согласно общепринятым методикам [Гусева, 1959]. При эколого-географической характеристике фитопланктона придерживались разработанных и универсальных систем, принятых в экологии и биогеографии видов [Барина и др., 2006; Давыдова, 1985; Sladecsek, 1973].

Таблица 1

**Некоторые лимнологические характеристики (средние данные за период исследований) исследованных водоемов (здесь и в табл. 2 в числителе – для загрязненных районов, в знаменателе – фоновых)**

Озера	Площадь зеркала, км <sup>2</sup>	Глубина макс.	Прозрачность	$P_{\text{общ}}$	$N_{\text{общ}}$	$Ni_{\text{общ}}$	$Cu_{\text{общ}}$	$SO_4^{2-}$
		м		мкг/л		мг/л		
Онежское	9944	120	$\frac{2-3}{3-4}$	$\frac{25-40}{5-10}$	$\frac{59-140}{40-69}$	$\frac{15-62}{2-9}$	$\frac{2-4}{2-3}$	$\frac{3-8}{3-5}$
Имандра	881	69	$\frac{2-4}{4-7}$	$\frac{30-71}{3-7}$	$\frac{125-433}{10-100}$	$\frac{8-67}{2-10}$	$\frac{5-16}{2-7}$	$\frac{15-61}{10-20}$
Умбозеро	313	115	$\frac{4-5}{5-8}$	$\frac{6-13}{3-7}$	$\frac{280-403}{10-100}$	$\frac{2-3}{1-2}$	$\frac{2-5}{1-2}$	$\frac{4-6}{2-4}$

### Результаты и обсуждение

Первые исследования видового состава фитопланктона озер Онежского, Имандра и Умбозеро относятся к началу прошлого века [Levander, 1905; Вислоух, Кольбе, 1927; Чернов, 1932; Кольский диатомитовый..., 1934; Воронихин, 1935; Клубницкая, 1957; Петровская, 1966; Петрова, 1971]. Природные характеристики фитопланктона этих озер чрезвычайно схожи и в целом являются характерными для глубоких олиготрофных озер с преобладанием диатомовых водорослей в течение всего вегетационного цикла. Количественные показатели фитопланктона фоновых (условно чистых) районов и сегодня редко превышают 1 г/м<sup>3</sup>, а средние значения биомассы за вегетационный период находятся в пределах 0.3–0.5 г/м<sup>3</sup>.

В начале вегетационного сезона руководящий комплекс водорослей возглавляет диатомея *Aulacoseira islandica*. Наряду с ней, но в более поздний период весенней вегетации, увеличивается в планктоне роль *Aulacoseira italica* и *A. alpigena*. На поздней стадии существования весеннего



комплекса *A. islandica*, продолжая лидировать в планктоне, вытесняется в эпилимнионе летними теплолюбивыми видами диатомовых – *Tabellaria fenestrata*, *Asterionella formosa*, *Fragilaria crotonensis*. Основная часть популяции *A. islandica* в течение лета опускается в нижние слои гипolimниона, где образует массовые скопления с сохраняющимся живым хлоропластом [Петрова, 1971].

Набор доминирующих видов в планктоне озер Онежского и Имандра за почти 40-летний период наблюдений постоянно расширялся. Число массовых форм последних десятилетий прошлого столетия [Вислянская, 1998; Яковлев, 1991; Чекрыжева, 1993; Чекрыжева, Сластина, 2002] значительно пополнилось за счет видов синезеленых, хлорококковых и криптофитовых водорослей, активно развивающихся в озерах, подверженных процессам эвтрофирования, и часто оказывающихся там доминантами планктонных комплексов, как, например, в планктоне Ладожского оз. [Петрова, 1990]. Характерной особенностью является отсутствие десмидиевых водорослей в наиболее загрязненных участках.

Начиная с 1990-х гг., в число доминантов поздневесеннего планктона вошла диатомовая водоросль *Diatoma elongatum*, в массе отмечаемая и в планктоне Ладожского оз. [Вислянская, 1998; Петрова, 1990]. Представители рода *Dinobryon* (*D. divergens*, *D. bavaricum*) из золотистых, на исчезновение которых из планктона больших олиготрофных озер в период их эвтрофирования указывают многие авторы [Чекрыжева, Сластина, 2002], в Онежском оз. и в оз. Имандра продолжают оставаться массовыми в период поздней весны и раннего лета.

Одной из характерных особенностей летнего и осеннего фитопланктона Онежского оз. 1990-х гг. является интенсивная вегетация синезеленых водорослей, начавшаяся уже в 1980-е гг. (Вислянская, 1999). Среди наиболее распространенных синезеленых, в том числе и в оз. Имандра, следует отметить *Oscillatoria tenuis*, *O. limosa*, *O. planctonica*, *Anabaena lemmermanii*, *A. hassalii*, *A. circinalis*, *Aphanizomenon flos-aquae* и *Microcystis aeruginosa*, *M. pulvere*

Заметно возрастает в последние годы роль хлорококковых, вольвоксовых и криптофитовых водорослей в летне-осеннем планктоне как Онежского оз., так и оз. Имандра. Среди постоянных форм, численность которых превышает прежний максимум [Петрова, 1971; Вислянская, 1998], значительно распространены *Sphaerocystis schroeteri*, *Ankistrodesmus pseudomirabilis*, *Scenedesmus quadricauda*. К их числу присоединяется ряд новых видов – *Dictyosphaerium pulchellum*, *Pandorina morum*, *Eudorina elegans*, *Pediastrum duplex*, *Chlamydomonas monadina*, *Planctococcus sphaerocystiformis*, а также криптофитовые рода *Cryptomonas*.

Наиболее значительные изменения количественных показателей фитопланктона произошли в Кондопожской и Петрозаводской губах Онежского озера. Начиная с конца 1980-х гг., отмечалось значительное развитие весеннего фитопланктона, во много раз превышающее величины биомассы, полученные для этих заливов в прежние годы (Вислянская, 1999, Чекрыжева, 2008). В настоящее время обилие планктонной флоры и отмеченная структурная перестройка в видовом составе, выразившаяся в увеличении числа видов, характерных для эвтрофных вод (*Pandorina morum*, *Eudorina elegans*, *Diatoma elongatum* и виды рода *Cryptomonas*, *Chlamydomonas*), свидетельствуют о продолжающемся развитии антропогенного эвтрофирования. Количественные характеристики фитопланктона характеризуют данные районы как мезотрофные (таб. 2). Согласно эколого-санитарным классификациям, воды Петрозаводской и Кондопожской губ по средним показателям фитопланктона в целом можно отнести к классу удовлетворительной чистоты.

Таблица 2

**Основные интегральные характеристики (средние значения и среднеквадратичные отклонения) фитопланктонных сообществ**

Озера	Индекс Шеннона	Cryptomonas, В %	Биомасса, г/м <sup>3</sup>	Численность, млн.кл/л	Chl «a», мг/м <sup>3</sup>	Сапробность
Онежское	$\frac{3.7 \pm 0.6}{2.9 \pm 0.3}$	$\frac{10.6 \pm 2.5}{1.5 \pm 0.4}$	$\frac{2.7 \pm 2.2}{0.7 \pm 0.5}$	$\frac{1.2 \pm 0.4}{0.2 \pm 0.1}$	$\frac{6.2 \pm 0.6}{2.9 \pm 0.4}$	$\frac{1.7 \pm 0.4}{1.4 \pm 0.3}$
Имандра	$\frac{3.1 \pm 0.5}{3.4 \pm 0.2}$	$\frac{35.5 \pm 7.1}{0.8 \pm 0.1}$	$\frac{3.6 \pm 3.7}{0.8 \pm 0.4}$	$\frac{9.2 \pm 3.1}{0.8 \pm 0.2}$	$\frac{4.6 \pm 1.8}{1.2 \pm 0.2}$	$\frac{2.1 \pm 0.5}{1.3 \pm 0.2}$
Умбозеро	$\frac{2.7 \pm 0.2}{2.5 \pm 0.2}$	$\frac{0.1 \pm 0.01}{0}$	$\frac{1.7 \pm 0.5}{0.9 \pm 0.3}$	$\frac{0.9 \pm 0.2}{0.7 \pm 0.2}$	$\frac{1.5 \pm 0.9}{0.8 \pm 0.1}$	$\frac{1.3 \pm 0.1}{1.2 \pm 0.1}$

Районы Центральное и Южное Онего дают интегральную характеристику состояния вод озера. По показателям фитопланктона они характеризуются как олиготрофные. Значения биомассы водорослей в течение вегетационного периода редко превышают  $1 \text{ г/м}^3$ . Антропогенное эвтрофирование отразилось на сообществе фитопланктона незначительным увеличением среднесезонного обилия водорослей.

Биомасса и структура фитопланктона северной части Онежского оз. (Повенецкий зал.) за последние два десятилетия практически не изменились, несмотря на поступление ежегодно  $> 5$  млн. т сточных вод, из которых лишь 5% подвергаются очистке [Экосистема Онежского..., 1990]. Это объясняется большими глубинами (до 100 м) и соответственно низкими температурами воды. Расчет индексов сапробности на основе индикаторных видов фитопланктона показал значения  $S = 1.4–1.7$ , что позволяет отнести водные массы губы к разряду достаточно чистых (олигосапробных и  $\beta$ -мезосапробных) вод.

Оз. Имандра испытывает антропогенное загрязнение преимущественно в северной части (Большая Имандра). Количественные и структурные изменения фитопланктона прослеживаются на расстоянии свыше 20 км от мест поступления сточных вод. В районах поступления сточных вод фитопланктон характеризуется большими колебаниями биомассы, которая может достигать  $20 \text{ г/м}^3$ . Индекс видового разнообразия (Шеннона) также изменяется в широких пределах: от 1.5 до 4.2 бит. Изменения структуры биомассы фитопланктона связаны с увеличением доли криптофитовых водорослей (иногда до 50%), зеленых (до 60%), среди диатомовых водорослей обилие видов рода *Stephanodiscus* достигало 50%. В зоне влияния подогретых вод Кольской АЭС зарегистрирована максимальная численность динофитовой водоросли *Ceratium hirundinella* (20 тыс. кл/л). Юго-западная часть озера остается наиболее близкой к природному состоянию (табл. 2). Здесь средние значения общей биомассы фитопланктона  $< 1 \text{ г/м}^3$ , численности – 0.8 млн.кл/л. Структура биомассы – типичная для северных глубоких олиготрофных озер с преобладанием диатомовой флоры ( $>70\%$ ).

По сравнению с другими озерами региона фитопланктон оз. Умбозеро имеет бедный видовой состав. Сопоставление наших данных с результатами более ранних исследований [Levander, 1905; Клубничная, 1957; Петровская, 1966] показало, что состав диатомовой флоры практически не изменился. Исключение представляют виды рода *Aulacoseira*, которые в последнее время становятся массовыми. Десмидиевые водоросли из доминирующих перешли в разряд редких.

Согласно существующим шкалам классификации трофического статуса водоемов, основанным на величине биомассы фитопланктона и содержании хлорофилла «а» [Трифенова, 1990], наиболее загрязненные участки акватории исследованных озер относятся к мезотрофному типу, а отдаленные от мест поступления сточных вод районы остались до настоящего времени олиготрофными. Использование модели В.В.Бульона [2005] для прогнозирования биомассы и потоков энергии ключевых функциональных групп организмов в больших озерах Европейского Севера России показало, что годовая продукция фитопланктона составляет 82-93 % общей продукции экосистемы, что в количественном выражении соответствует  $104-137 \text{ ккал/м}^2$  в год.

Известно, что между индексом видового разнообразия, числом видов в сообществе и качеством воды отсутствует линейная зависимость [Барина и др., 2006]. Это подтверждают и наши исследования планктонных водорослей. Однако такие показатели фитопланктона, как состав доминирующих видов, значения биомассы и индексов сапробности хорошо отражают состояние и тенденции изменения водных экосистем.

В настоящее время список водорослей континентальных вод, имеющих индикаторное значение, достигает 6900 видов, в том числе 3127 видов-индикаторов сапробности [Барина и др., 2006]. В исследованных озерах нами выделено несколько основных наиболее массовых индикаторных видов (рода *Cryptomonas*, *Pandorina morum*, *Eudorina elegans*, *Ceratium hirundinella*, *Stephanodiscus rotula*).

### Выводы

Характерной особенностью изменения видовой структуры фитопланктонных сообществ исследованных озер является расширение круга массовых форм за счет видов зеленых и криптофитовых водорослей, являющихся индикаторами органического загрязнения природных вод и активно развивающихся в заливах озер (Кондопожская и Петрозаводская губы Онежского оз., губы Монче и Белая на оз. Имандра), наиболее подверженных антропогенному эвтрофированию. Несмотря на ло-

кальный характер загрязнения больших озер, изменения количественных показателей фитопланктона прослеживаются на большом расстоянии от места поступления сточных вод. Массовое развитие водорослей приводит к увеличению первичной продукции. При этом гидрологические особенности (глубина, течение и температура воды) водных объектов служат основными лимитирующими факторами их эвтрофирования.

Преобразования фитопланктонных сообществ в оз. Имандра, связанные с антропогенным загрязнением, прослеживаются приблизительно на 80% всей акватории озера. Некоторый спад производства в 1990-х гг. и снижение объемов загрязняющих веществ не изменили количественные показатели водорослей планктона, их значения остаются достаточно высокими для северных олиготрофных водоемов.

Несмотря на то, что в состав фитопланктона входит лишь часть водорослей, обитающих в водоеме, он служит хорошим индикатором качества воды в больших глубоких озерах и может использоваться в оценке распространения загрязнения от локальных источников и исследовании процессов самоочищения вод.

### Литература

- Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. 2006. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив, 498 с.
- Бульон В.В. Моделирование потоков энергии в озерных экосистемах как инструмент гидробиологических исследований // Водные ресурсы. 2005. Т. 32, № 3. С. 361–370.
- Вислоух С.М., Кольбе Р.Р. 1927. Материалы по диатомовым Онежского и Лососинного озер // Тр. Олонецкой научной экспедиции, Вып. 1. Ч.5. 76 с.
- Висянская И.Г. 1998. Фитопланктон // Современное состояние водных объектов Республики Карелия. По материалам мониторинга 1992-1997 гг. Петрозаводск: Изд-во Карельского научного центра РАН, С. 57–60.
- Висянская И.Г. 1999. Структура и динамика биомассы фитопланктона // Онежское озеро. Экологические проблемы. Петрозаводск: Изд-во Карельского научного центра РАН, С. 146–158.
- Воронихин Н.Н. 1935. Водоросли и их группировки в озерах Имандра и Нотозеро (Кольский полуостров) // Тр. Ботанического ин-та АН СССР. Сер. 2. Вып. 2. С. 107–150.
- Гусева К.А. 1959. К методике учета фитопланктона // Тр. Ин-та биологии водохранилищ АН СССР. Т. 2. С. 44–51.
- Давыдова Н.Н. 1985. Диатомовые водоросли - индикаторы природных условий водоемов в голоцене. Л.: Наука, 244 с.
- Клубничная Г.Д. 1957. Гидробиологическая характеристика южной части Умбозера. Дипломная работа. Ленингр. гос. ун-т. Рукопись. Л., 79 с. (Фонды Кольского НЦ РАН).
- Кольский диатомитовый сборник // Тр. Геоморфологического ин-та АН СССР. 1934. Вып. 8. 214 с.
- Петрова Н.А. 1990. Сукцессии фитопланктона при антропогенном эвтрофировании больших озер. Л.: Наука, 200 с.
- Петрова Н.А. 1971. Фитопланктон Онежского озера // Растительный мир Онежского озера. Л.: Наука, С. 88–127.
- Петровская М.В. 1966. Характеристика зоопланктона озер Мурманской области // Рыбы Мурманской области. Мурманск, С. 84–90.
- Трифонов И.С. 1990. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Л.: Наука, 184 с.
- Чекрыжева Т.А. 1993. Оценка качества вод Кондопожской губы Онежского озера по фитопланктону // Матер. III Всеросс. конф. по водной растительности внутренних водоемов и качество их вод. Петрозаводск: Изд-во Карельского научного центра РАН, С.18–19.
- Чекрыжева Т.А., Сластина Ю.Л. 2002. Индикация по фитопланктону зон загрязнения Кондопожской губы Онежского озера // Современные проблемы водной токсикологии. Тез. Всеросс. конф. Борок. С. 181.
- Чекрыжева Т.А., Шаров А.Н. 2006. Современное состояние фитопланктона Онежского озера // Матер. междунар. конф., посвященной 60-летию КарНЦ РАН. Северная Европа в XXI веке: природа, культура, экономика. Петрозаводск: Изд-во Карельского научного центра РАН, С. 320–323.
- Чернов В.К. 1932. Фитопланктон Шальской губы Онежского озера // Тр. Бородинской биологической станции в Карелии. Т. 6. Вып. 1. С. 25–26.
- Экосистема Онежского озера и тенденции ее изменения. 1990. Л.: Наука, 264 с.
- Яковлев В.А. 1991. Гидробиологические исследования внутренних вод Кольского Севера. Апатиты: Изд-во Кольск. НЦ АН СССР, 53 с.
- Levander K. 1905. Zur Kenntniss des Planktons einiger Binnenseen in Ruisch -Lapland // Festschrift f. Palmrn. Bd 1, № 11. P. 1–40.

- Sladeczek V. 1973. System of water quality from the biological point of view // Archiv fur Hydrobiologie. Beiheft Ergebnisse der Limnologie. №7. S. 1–128.
- Tikkanen T. 1986. Kasviplanktonopas. Suomen Luonnonsuojelun Tuki Oy. Helsinki, 277 p.
- Willen E. 1974. Metodik vid vaxtplanktonundersokningar // Naturvardsverkets limnologiska undersokning. B 76. S. 1–45.

## **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИХТИОФАУНЫ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЕЁ ИЗМЕНЕНИЯ**

**Ф.М. Шакирова**

Татарское отделение ФГНУ «ГосНИОРХ», г. Казань, Россия  
e-mail: gosniorh@telebit.ru; objekt\_sveta@mail.ru

Создание водохранилищ и сегодня вызывает много споров о целесообразности их строительства. Так как зарегулирование стока рек приводит к превращению речных экосистем в озерные, с совершенно другими гидрологическими, гидрохимическими и гидробиологическими характеристиками, которые, в свою очередь, создают иные условия для жизни гидробионтов и определяют их состав, структуру и распределение. Однако, не отрицая негативного воздействия водохранилищ на речные экосистемы, в том числе их гидрофауну, с одной стороны, невозможно опровергнуть их необходимость для социально-экономического развития общества с другой (Павлов и др., 1994).

Формирование ихтиофауны Куйбышевского водохранилища, являющегося водоемом многоцелевого назначения и созданного в густонаселенном промышленном районе Среднего Поволжья в 1955–1957 гг., шло за счет исходной фауны рыб бассейна Волги. Однако стихийное формирование ихтиофауны водохранилища в период его становления и самопроизвольное проникновение ряда видов препятствовали созданию в водоеме больших промысловых запасов ценных видов. Тогда как второстепенные и малоценные рыбы, обладая высокой экологической пластичностью, увеличили здесь свою численность. Этому способствовало также практически полное отсутствие работ по реконструкции ихтиофауны путем увеличения численности хозяйственно значимых высокоценных видов.

Экосистема Куйбышевского водохранилища за 50-летний период своего функционирования прошла ряд последовательных этапов формирования искусственно созданных водоемов многоцелевого назначения (Ballon, 1974; Изменение структуры..., 1982; Сальников, Решетников, 1991; Шакирова, Таиров, 2005). Известно, что при зарегулировании стока реки и создании водохранилища эволюция водоема затрагивает все его компоненты. В первые годы после залития водохранилища наблюдается высокий рост численности и биомассы всех гидробионтов, который затем снижается, уступая место на новом, более высоком уровне по сравнению с той, что была в условиях реки. При этом увеличивается видовой состав сообщества гидробионтов за счет лимнофильных видов, снижается состав реофильных видов, и появляются значительные возможности для повышения численности хищных рыб, выполняющих стабилизирующую роль в экосистеме. Дальнейшая картина функционирования экосистемы зависит от целого ряда факторов, воздействующих на водоем в результате хозяйственной деятельности человека, к числу которых относятся:

-загрязнение водохранилища сбросными водами промышленных, коммунальных и сельскохозяйственных предприятий, приводящее к ухудшению качества воды и, нередко, к снижению биологических показателей гидробионтов и уровня их развития;

-резкий сброс воды во время нереста или инкубации икры, приводящий к значительному снижению численности основных фитофильных рыб;

-целенаправленная или случайная акклиматизация, воздействующая на ихтиофауну водоема и в значительной мере определяющая её развитие и многое другое.

До зарегулирования Волги на этом участке обитало 46 видов рыб, после создания водохранилища число их практически не изменилось и достигло 48 по В.А. Кузнецову (1978, 2005). В настоящее время в составе ихтиофауны Куйбышевского водохранилища выявлены значительные изменения (табл.) за счет сокращения числа проходных и реофильных видов и перехода их в группу «редких» или «исчезающих». Сохранение и даже увеличение общего числа видов, произошло за счет

целенаправленных вселенцев (белый и пестрый толстолобики, белый амур, пелядь и др.), видов, случайно завезенных в период акклиматизационных работ и самопроизвольно проникших (Шаронов, 1972, Шакирова, 2007).

#### Видовой состав рыбообразных и рыб Средней Волги и Куйбышевского водохранилища

Таксоны	Кузнецов, 20078, 2005 гг.		Куйбышевское водохранилище	
	Р.Волга	Куйбышевское водохранилище	Слынько, 2000	Наши данные, 2008
семейства	14	17	24	18
виды	46	48	69	55

Гидростроительство водохранилищ и каналов в бассейне Волги разрушило изолирующие барьеры и способствовало проникновению и расселению ряда видов рыб за пределы их естественного ареала. В ихтиофауне Куйбышевского водохранилища за счет вселенцев, пришедших, как с севера, так и с юга, появились новые виды, не регистрируемые здесь прежде. Не меньшую роль в формировании современного состава рыбного населения водохранилища сыграли активизация судохозяйства, загрязнение вод промышленными и бытовыми сбросами, акклиматизационные мероприятия и садковое выращивание рыб, проводимые здесь в 50–70 годах прошлого столетия с целью обогащения водоема кормовыми объектами (мизиды, моллюск сердцевидка) и ихтиофауны объектами промысла (пелядь, баунтовский и чудской сиг, радужная форель, бестер и др.) (Шакирова, 2007).

В свою очередь, при акклиматизационных мероприятиях в водоемы нередко попадают нежелательные виды, что ухудшает результаты работ и отрицательно сказывается на всей экосистеме. Предполагается, что черноморская пухлощекая игла-рыба, звездчатая пуголовка и бычок-кругляк в Куйбышевское водохранилище попали из Цимлянского водохранилища и устья Дона ещё при вселении мизид в 1957–1967 гг., успешно натурализовались и стали обычными видами практически во всех водохранилищах волжского каскада (Цыплаков, 1974; Антонов, Козловский, 2003 и др.). Однако, по нашему мнению, нельзя исключать самопроизвольное расселение этих видов из Каспийского моря вверх по Волге.

Анализ современного состава рыбного населения водохранилища выявил значительное увеличение видового состава рыб (55 видов, относящихся к 18 семействам) (см. табл.). При этом нами не учитывались виды, в течение последних десятилетий не обнаруженные в водоеме (каспийская минога, русский осетр, шип, каспийско-черноморский пузанок, волжская сельдь, сельдь-черноспинка, белорыбица, хариус, 3 вида буффало (малоротый, большеротый и черный)), несмотря на то, что ранее они обитали здесь. Поэтому отмечается колебание числа видов у разных авторов (см. табл.) По материалам собственных исследований и литературным источникам сегодня в водоеме встречается более 15 чужеродных видов рыб, появившиеся здесь в разные годы и различным путем (Шакирова, 2007). Целенаправленно в водохранилище вселялись пелядь, белый и пестрый толстолобики и белый амур. Самостоятельно проникли тюлька, европейская ряпушка, европейская корюшка (снеток), речной угорь, малая южная колюшка, девятииглая колюшка, черноморско-каспийская пухлощекая игла-рыба, головешка-ротан и ряд бычков (звездчатая пуголовка, каспийский бычок-головач, бычок-кругляк и бычок-цуцик). Некоторые из них (тюлька) полностью натурализовались, достигли достаточно высокой численности, широко распространились по акватории водоема и осваиваются промыслом. Другие – размножаются самостоятельно и стали обычными видами с локальным распределением (черноморско-каспийская пухлощекая игла-рыба, головешка-ротан, бычок-кругляк, звездчатая пуголовка, бычок-головач и бычок-цуцик). Не акклиматизировались, в силу их биологии белый амур, белый и пестрый толстолобики (Алиев и др., 1994; Павлов и др., 1994), численность которых поддерживается объемами выпуска и контролируема. Неудачной, из-за колебания температурного и уровня режимов в водоеме, отрицательно сказывающихся на инкубации икры, оказалась попытка акклиматизации в водохранилище в 1965 г. пеляди (Цыплаков, 1974). Несмотря на благоприятные для обитания рыб условия, численность ее в водохранилище можно поддерживать лишь за счет искусственного выпуска. В состав вселенцев водохранилища включены виды, являющиеся «транзитными», как, например, европейский речной угорь, единично встречающийся, но по своей биологии и экологии не способный натурализоваться в новых для него условиях.

Изучение инвазионных процессов и состав проникающих в экосистемы видов привело исследователей к заключению, что структуру сообщества, его население и процесс вселения чужеродных видов определяет уровень воспроизводства пищи. В олиготрофные водоемы шанс вселиться имеют виды с высокой конкурентной способностью, а в эвтрофные, к которым относится Куйбышевское водохранилище – виды с высокими скоростями роста, способные быстро наращивать свою численность. Поэтому вполне объяснимо активное проникновение в последние десятилетия в эвтрофное Куйбышевское водохранилище короткоциклового вида с высокой экологической пластичностью (Ривьер, 2003; Фенева, Будаев, 2003).

В последние десятилетия в Куйбышевском водохранилище в результате изменения экологического состояния водоема, нерационального промысла отмечается тенденция, идущая по пути уменьшения численности крупных, ценных и длинноциклового вида рыб (сазан, щука, стерлядь и др.) и увеличения мелких, малоценных и короткоциклового (карась, плотва и др.). Повысились значения показателя обилия второстепенных видов и доминирующими стали личинки плотвы, серебряного карася и др. (Кузнецов, 2001). Однако с начала 90-х годов XX века численность серебряного карася стала резко возрастать повсюду, и он заселяет все новые и новые водоёмы. Отмечаются также значительные структурные перестройки в популяции карася, который прежде состоял из одних лишь самок, и размножался гиногенетически (Подушка, 2004).

Биопродукционные возможности Куйбышевского водохранилища велики. Реализация их возможна при коренной реконструкции сложившейся экосистемы. Еще в далекой перспективе водохранилище, в плане его рыбохозяйственного освоения, представлялось ученым-ихтиологам огромным нагульным водоемом вокруг которого в удобных местах с благоприятным сочетанием рельефа и наличием источников водоснабжения предполагалось строительство рыбопитомников, снабжающих его рыбопосадочным материалом и обеспечивающих направленное формирование ихтиофауны ценными промысловыми видами, способных полностью осваивать кормовые ресурсы. Сегодня для реализации возможностей водоема следует в более широких масштабах осуществлять выпуск в водохранилище рыб китайского равнинного комплекса (белый амур и белый толстолобик) пищевая ниша которых остаётся свободной и местных ценных быстрорастущих промысловых видов, особенно тех, естественное воспроизводство которых находится на низком уровне (сазан, щука, стерлядь), а резервы потребляемых ими кормов не полностью осваиваются аборигенной ихтиофауной.

В первую очередь – это стерлядь, являющаяся наиболее ценной промысловой рыбой бассейна Волги, а водохранилища Средней Волги и Нижней Камы сегодня остаются единственным районом обитания этого вида в европейской части России, где он сохранил ещё свою относительно высокую численность и, с определенными ограничениями, эксплуатируется промыслом. Для поддержания её численности в водохранилище в настоящее время необходимо сохранить в надлежащем состоянии естественные нерестилища, запретить на нерестовых участках разработку песка и гравия, забор воды и сброс промышленных и бытовых стоков, а для увеличения численности – обратить особое внимание на искусственное воспроизводство. В свою очередь, выпуск быстрорастущего крупноразмерного, малодоступного хищным рыбам рыбопосадочного материала стерляди позволит пополнить численность маточного стада и в значительной степени восстановить воспроизводственный потенциал этого вида в Куйбышевском водохранилище (Гончаренко и др., 2007).

Щука – одна из широко распространенных и быстрорастущих хищных рыб бассейна Волги. На Средней Волге она играла ведущую роль в промысле и имела важное рыбохозяйственное значение. В период заполнения водохранилища были созданы весьма благоприятные условия для её размножения. Обилие производителей, наличие достаточного количества нерестилищ, отсутствие в этот период резкой сработки уровня воды способствовали вспышке численности щуки в первые годы функционирования водохранилища. Но запасы ее стали быстро снижаться, и к середине 70-х гг. уловы упали в 10 раз. После окончательного заполнения водохранилища положение резко ухудшилось. В настоящее время численность щуки в водохранилище невелика и требует восстановления, а встречается она в основном в верхних плесах, где уловы колеблются от 15.1 до 33.9 т.

Сазан – один из ценных промысловых видов Куйбышевского водохранилища, достигающий нередко длины 1 м, массы – более 10 кг. Основные места его обитания приурочены к прилежащим большим заливам Мёшинскому, Черемшанскому, Свияжскому и устьям мелководьям. Несмотря на весьма благоприятные условия для обитания сазана, численность его невысока. Это объясняется тем, что в водоёме количество оптимальных для его эффективного нереста участков ограничено и

часто весной наблюдается сработка уровня воды, в результате которой нередко икра сазана на нерестилищах обсыхает, а молодь остаётся в отшнурованных водоёмах. Все это снижает уровень его естественного воспроизводства и одним из эффективных мер для поддержания численности рыб в водохранилище является выпуск в водоём жизнестойкой молоди.

Таким образом, изменения, происходящие сегодня в ихтиофауне Куйбышевского водохранилища – одного из важнейших рыбопромысловых угодий Среднего Поволжья, требуют к себе пристального внимания исследователей и практиков для сохранения ценных высокопродуктивных промысловых видов рыб важнейшего региона.

### Литература

- Алиев Д.С., Суханова А.И., Шакирова Ф.М. и др. 1994. Растительные рыбы в Туркменистане. Ашхабад: Ылым. 326 с.
- Антонов П.И., Козловский С.В. 2001. О самопроизвольном расширении ареалов некоторых понто-каспийских видов по каскадам водохранилищ /Американо-российский симпозиум по инвазионным видам (27–31 августа 2001. Борок. Россия). Тез. докл. Ярославль: 18–20.
- Гончаренко К.С., Говоркова Л.К., Анохина О.К. и др. 2007. Стерлядь Куйбышевского водохранилища, её запасы, прогнозы ОДУ, промысел, естественное воспроизводство /Сб. научн. тр. ФГНУ ГосНИОРХ к 80-летию профессора Л.А. Кудерского (Исследования по ихтиологии и смежным дисциплинам на внутренних водоемах в начале XXI века). Вып. 336. С. 91 – 108.
- Изменение структуры рыбного населения эвтрофируемого водоема. 1982. /Ред. М.И. Шатуновского. М.: Наука. С. 248 с.
- Кузнецов В.А. 1978. Особенности воспроизводства рыб в условиях зарегулированного стока реки. Казань: КГУ. 160 с.
- Кузнецов В.А. 2001. Изменение в рыбном сообществе Куйбышевского водохранилища связанное с переходом его экосистемы в фазу дестабилизации /Тез. докл. VIII съезда Гидробиол. общ-ва РАН. Калининград. Т.1. С. 114–115.
- Кузнецов В.А. 2004. Изменение структуры популяции и биологических показателей серебряного карася *Carassius auratus gibelio* в Волжском плесе Куйбышевского водохранилища в условиях усиления антропогенной нагрузки на экосистему //Журн. вопр. ихтиол. Т. 44. №2. С. 257–264.
- Кузнецов В.А. 2005. Рыбы Волжско-Камского края. Казань: Идел-Пресс. 201 с.
- Павлов Д.С., Алиев Д.С., Шакирова Ф.М. и др. 1994. Биология рыб Сарызынского водохранилища М.-Ашхабад: Гидропроект. 150 с.
- Подушка С.Б. 2004. О причинах вспышки численности серебряного карася /Научно-технич. бюллетень лаб. ихтиол. ИНЭКО. С.-Петербург. Вып. 8. С. 5–15.
- Ривьер И.К. 2003. Современное распределение бореально-арктических и понто-каспийских беспозвоночных в Волжском каскаде //Инвазии чужеродных видов в Голарктике. Матер. российско-американского симпозиума по инвазийным видам (27–31 августа 2001г) Борок. С.193–199.
- Сальников В.Б., Решетников Ю.С. 1991. Формирование рыбного населения искусственных водоемов Туркменистана //Журн. вопр. ихтиол. Т. 31. Вып. 4. С. 565–575.
- Слынько Ю.В., Кияшко В.И., Яковлев В.Н. 2000. Список видов рыбообразных и рыб бассейна р. Волга //Каталог растений и животных водоемов бассейна Волги. Ярославль. С. 252 – 277.
- Фенева И.Ю., Будаев С.В. 2003. Моделирование инвазионных процессов в условиях эксплуатационной конкуренции //Инвазии чужеродных видов в Голарктике. Матер. российско-американского симпозиума по инвазийным видам (27–31 августа 2001г) Борок. С.35–48.
- Цыплаков Э.П. 1974. Расширения ареалов некоторых видов рыб в связи с гидростроительством на Волге и акклиматизационными работами //Журн. вопр. ихтиол. Т. 14. Вып. 3. С. 396–405.
- Шакирова Ф.М., Таиров Р.Г. 2005. Изменения в популяции серебряного карася Куйбышевского водохранилища как показатель состояния водоема //Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера (Матер. IV международной конф.) Вологда. Ч.2. С.238–240.
- Шакирова Ф.М. 2007. Современное состояние чужеродных видов рыб Куйбышевского водохранилища /Сб. научн. тр. ФГНУ ГосНИОРХ к 80-летию профессора Л.А. Кудерского (Исследования по ихтиологии и смежным дисциплинам на внутренних водоемах в начале XXI века). Вып. 337. С. 157 – 170.
- Шаронов И.В. 1972. Проникновение северных и южных форм рыб в Куйбышевское водохранилище /Тр. Тат. отд. ГосНИОРХ. Казань. Вып. XII.: С. 178–179.
- Ballon T.R. 1974. Fish production of a tropical ecosystem //Lace Kariba / A man-made tropical ecosystems in Central Africa. The Hague: Dr. W. Junk. b.v. P. 250–676.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ КОРМОВОЙ БАЗЫ ЗАВОДСКОЙ МОЛОДИ АТЛАНТИЧЕСКОГО ЛОСОСЯ РЕКИ КОЛА (КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)

Т. В. Шамрай

Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича (ПИНРО), г. Мурманск, Россия  
e-mail: tshamray@pinro.ru

Одним из способов сохранения и восстановления запаса атлантического лосося (семги) в современных условиях является искусственное воспроизводство, основным показателем которого (в нашей стране) является количество выпускаемой заводской молоди. Постоянное наращивание количества выпускаемой молоди без учета кормовых возможностей акватории нагула может привести к подрыву кормовой базы, и, как следствие, к снижению темпов роста и выживаемости рыб. Мониторинг гидробиологических ресурсов с целью разработки прогноза развития кормовой базы с заблаговременностью в 1 год позволит рассчитывать экологическую емкость и своевременно изменять количество выпускаемой молоди.

Исследования проводились на р. Кола и её притоках в течение 2003–2007 гг. Для оценки состояния кормовой базы молоди атлантического лосося изучали качественный и количественный состав бентоса и питание молоди в местах ежегодного выпуска рыб Кандалакшским и Князегубским рыбзаводами. Пробы зообентоса отбирали откидной количественной рамкой с площадью захвата 0,04 м<sup>2</sup>, оснащенной комбинированным мешком из газа и плотной ткани. Места сбора проб были представлены разными биотопами: галечно-валунный грунт с обрастаниями из мха или водорослей, галечно-валунный грунт без обрастаний, песчано-галечниковый грунт. Глубина отбора проб не превышала 0,5 м. Камеральная обработка собранного материала осуществлялась по стандартным, общепринятым методикам (Методическое пособие, 1974, Методические рекомендации, 1984, 1989).

Известно, что основу кормовой базы молоди лосося составляют донные беспозвоночные, представители литореофильного биоценоза (насекомые, моллюски, черви, ракообразные) (Шустов, 1983).

Анализ данных, полученных в результате изучения питания молоди семги р. Кола в районе рыбоучетного заграждения (РУЗ) у пос. Магнетиты показал, что основу рациона молоди атлантического лосося составляли личинки подвижных донных насекомых – ручейников, поденок, веснянок и хирономид (таблица 1). Они являлись постоянными компонентами пищи пестряток, спектры питания дикой и заводской молоди практически совпадали. В 2003 г. молодь наряду с основными объектами потребляла в качестве второстепенных объектов питания личинок других насекомых: мошек, жуков, мух и практически не использовала в пищу олигохет, нематод, моллюсков, гидрокарин и др (таблица 1). Индекс наполнения желудков заводской молоди на участке (РУЗ) составил 96,1% (Шамрай, 2005). В 2005 г. основными компонентами пищевого комка были личинки ручейников, поденок, представители воздушной фракции насекомых, в том числе двукрылых *Diptera*, олигохеты, а также в желудках были обнаружены гидрокарины и водные жуки, и у одной пестрятки была обнаружена рыба (таблица 1). Индекс наполнения желудков заводской молоди в 2005 г. на участке (РУЗ) составил 70,9%. Изучение особенностей питания в 2006 г., показало, что наиболее часто встречались личинки ручейников, которые были обнаружены в пищеварительном тракте у 64,7 % рыб, моллюски – у 35,3 %, хирономиды (основном мелкие) – у 29,4 %, достаточно часто встречались веснянки и поденки, и единично встретились черви, личинки мошки, мшанки (таблица 1). В этом году (в отличие от 2005 г.) в желудках не встречались личинки мух, пауки и рыба.

Различия качественного и количественного состава пищевых комков соответствовали особенностям жизненного цикла организмов зообентоса доступностью для молоди и условиями питания рыб.

Анализ данных по бентофауне показал, что в 2003г. в местах ежегодного выпуска заводской молоди показатели численности и биомассы были невелики. Было выделено 12 групп беспозвоночных: *Trichoptera*, *Ephemeroptera*, *Plecoptera*, *Chironomidae*, *Simuliidae*, *Oligochaeta*, *et Diptera*, *Hydracarina*, *Mollusca*, *Hirudinea*, *Nematoda*, *Coleoptera*.

Показатели численности и биомассы зообентоса речной системы Кола представлены в таблице 2.



В притоке Колы – р. Домашняя пробы отбирались недалеко от устья. На плесе в июле биомасса составила 0,87 г/м<sup>2</sup>, при численности 0,096 тыс. экз./м<sup>2</sup>, в октябре биомасса увеличилась до 4,03 г/м<sup>2</sup>, а численность составила 0,216 тыс. экз./м<sup>2</sup>. Основными организмами в пробах в июле были *Trichoptera*, *Oligochaeta*, *Ephemeroptera*, *Mollusca*, составившие по 25 % общей численности.

Таблица 1

**Частота встречаемости организмов бентоса в пищевом комке у молоди атлантического лосося в 2003 г., 2005 г., и 2006 г.**

Группы пищевых организмов	Частота встречаемости, %			
	2003г.	2005г.		2006г.
	Молодь (дикая и заводская)	Дикая молодь	Заводская молодь	Молодь (дикая и заводская)
Ручейники, личинки ( <i>Trichoptera</i> L.,)	72,7	75,0	25,0	64,7
Поденки, Веснянки, личинки ( <i>Ephemeroptera</i> L., <i>Plecoptera</i> L.)	54,5	50,0	66,7	41,1
Хирономиды, личинки ( <i>Chironomidae</i> L.,)	63,6	–	–	29,4
Насекомые, имаго ( <i>Insecta</i> , <i>Diptera</i> )	22,2	12,5	66,7	11,7
Моллюски ( <i>Mollusca</i> )	–	0,0	16,7	35,3
Олигохеты ( <i>Oligocheta</i> )	–	25,0	0,0	–
Прочие ( <i>Hydracarina</i> , <i>Coleoptera</i> , рыба)	30,0	37,5	16,7	17,0

В р. Кица на прибрежном пороге биомасса составила 2,1 г/м<sup>2</sup> при численности 0,168 тыс. экз./м<sup>2</sup> и основными организмами были *Ephemeroptera* (42,9 %), *Nematoda* (28,6 %), а также личинки *et Diptera* (дикранота и зеленушки). На перекате биомасса составила 0,58 г/м<sup>2</sup> при численности 0,554 тыс. экз./м<sup>2</sup>. Основными организмами были *Trichoptera* (39 %), личинки *Chironomidae* и *Nematoda*. Прибрежный плес имел очень скудную биомассу и численность бентосных организмов – 0,024 г/м<sup>2</sup> и 0,48 тыс. экз./м<sup>2</sup>, соответственно, и численно доминировали *Chironomidae* (100 %).

Анализ бентофауны р. Кола (РУЗ) показал, что в июле основными организмами бентоса были *Trichoptera*, составляющие 35–67 % численности обнаруженных организмов, *Ephemeroptera* 20–26 %, а также *Nematoda*, численность которых составляла от 10 до 21 %. В октябре перед ледоставом *Ephemeroptera* составляли 22%, до 67 % увеличилось количество *Oligochaeta* и резко снизилось количество личинок *Trichoptera*.

В 2004 г. исследования зообентоса проводили весной в р. Орловка и р. Домашняя и летом в р. Кица и р. Кола. Наилучшими кормовыми условиями обладал участок реки Кица, где показатели биомассы были на порядок выше (таблица 2).

Таблица 2

**Численность и биомасса бентоса в реке Кола и её притоках – рр. Орловка, Кица, Домашняя в 2003–2007гг.**

Река	Показатель	2003		2004		2005		2006			2007	
		июль	октябрь	апрель	июль	июль	август	апрель	июль	сентябрь	апрель	июль
Орловка	Численность	–	–	0,8	–	0,68	0,63	1,18	1,88	3,01	0,93	1,35
	Биомасса	–	–	3,56	–	0,92	1,39	4,01	2,2	3,63	0,48	0,83
Кица	Численность	0,256	–	–	2,3	2,14	1,48	7,09	5,06	4,11	0,44	–
	Биомасса	0,9	–	–	15,5	4,86	2,75	8,27	7,21	5,48	0,6	–
Домашняя	Численность	0,096	0,22	0,15	–	0,38	–	–	–	2,83	–	0,86
	Биомасса	0,87	4,0	2,05	–	2,03	–	–	–	6,84	–	2,02
Кола (Магнетиты, РУЗ)	Численность	0,336	0,16	–	1,3	0,36	1,74	–	0,58	1,08	–	0,52
	Биомасса	1,97	2,95	–	6,3	1,09	5,9	–	1,58	6,72	–	0,92

Показатели весенней плотности распределения организмов бентоса составили 0,8 тыс. экз./м<sup>2</sup> и 0,15 тыс. экз./м<sup>2</sup> при биомассе 3,56 г/м<sup>2</sup> и 2,05 г/м<sup>2</sup> в рр. Орловка и Домашняя, соответственно. В Орловке доминантной группой по численности были личинки *Chironomidae* (62 %) и *Nematoda* (25 %), по биомассе – *Nematoda* (89 %). В р. Домашняя численно доминировали также *Nematoda* 50 % и одинаковое количество *Chironomidae*, *Trichoptera* и *Ephemeroptera* (по 17 %), биомассу создавали в основном *Trichoptera* (82 %) и *Ephemeroptera* (9 %).

Летом в р. Кица численность и биомасса организмов составляла 2,3 тыс. экз./м<sup>2</sup> и 15,5 г/м<sup>2</sup>. Доминантными были группы *Mollusca* (26 %), *et Diptera* (21 %) и стабильная группа *Chironomidae* и *Trichoptera* (14–16 %). По биомассе основу составляли *et Diptera* (55 %), *Mollusca* (19 %), субдоминантами являлись *Nematoda* (10 %) и *Trichoptera* (9 %).

В основном русле р. Кола (РУЗ), где регулярно проводят выпуски молоди, численность и биомасса составили 1,3 тыс. экз./м<sup>2</sup> и 6,78 г/м<sup>2</sup>. При этом основными организмами по численности были *Nematoda* (30 %), *Ephemeroptera* (26 %), *Chironomidae* и *Mollusca* (по 15 %). Доминантами по биомассе были *Nematoda* (74 %), незначительно составили имаго комаров (10 %) и на *Ephemeroptera* и *Mollusca* пришлось по 7 %.

В 2005 г. при исследовании зообентоса в р. Орловка в июле-августе показатели численности и биомассы характеризуются некоторым постоянством, в пределах 0,68–0,63 тыс. экз./м<sup>2</sup> и 0,9–1,39 г/м<sup>2</sup>. В июле основными организмами бентоса по численности были *Chironomidae* (54 %), *Trichoptera* (11 %). Основой биомассы являлись *Trichoptera* (61 %), *Chironomidae* (14 %). Биомасса остальных групп зообентоса не превышала 6 %. В августе *Chironomidae* и *Trichoptera* также сохранили свое численное преимущество над остальными группами бентоса (28 % и 20 % от общей численности), но основу биомассы составляли *Ephemeroptera* (36 %) и *Coleoptera* (20 %).

Биомасса бентоса р. Кица в июле составила 4,8 г/м<sup>2</sup> при численности 2,1 тыс. экз./м<sup>2</sup>, а в августе снизилась до 2,75 г/м<sup>2</sup> и 1,5 тыс. экз./м<sup>2</sup>. Основными организмами по численности были *Chironomidae* (38 %), *Plecoptera* (12 %), а по биомассе преобладали *et Diptera* (33 %), *Mollusca* (29 %), *Ephemeroptera* (18 %). В августе численно доминировали личинки *Chironomidae* (24 %) и *Trichoptera* (22 %). Кроме того, в пробах присутствовали от 9 % до 15 % организмов и личинок, не являющихся основными в кормовой базе молоди семги (*Coleoptera*, *Hydracarina*). Основу биомассы составляли *Diptera* (43 %), *Mollusca* (19 %) и *Trichoptera* (16 %).

Показатели численности организмов в р. Домашняя составили в июле 0,38 тыс. экз./м<sup>2</sup> при средней биомассе 2,0 г/м<sup>2</sup>. Основу численности составляли кормовые организмы: личинки *Trichoptera* (22 %), *Plecoptera* (22 %), *Chironomidae* (22 %), а по биомассе доминировали *Trichoptera* (30 %), *Mollusca* (25 %), *et Diptera* (21 %).

В основном русле р. Кола (РУЗ) средняя численность бентосных организмов в июле составляла 0,36 тыс. экз./м<sup>2</sup>, а биомасса 1,09 г/м<sup>2</sup>, преобладали *Oligochaeta* и *Ephemeroptera* (по 20 %). В августе численность и биомасса составляли 1,74 тыс. экз./м<sup>2</sup> и 5,9 г/м<sup>2</sup>. Причем, по численности преобладали *Plecoptera* (40 %), *Chironomidae* (13 %) и *Trichoptera* (11 %), а биомассу создавали *Oligochaeta* (62 %), *et Diptera* (48 %).

В 2006 г. численность и биомасса характеризуется повышенными показателями по сравнению с предшествующими годами. Среди исследованных участков р. Кола и ее притоков наилучшими количественными показателями зообентоса обладал биоценоз р. Кица. Наиболее низкие показатели численности и биомассы зообентоса наблюдались в р. Кола (РУЗ).

В р. Орловка численность бентосных организмов изменялась от 1,2 тыс. экз./м<sup>2</sup> в апреле, 1,9 тыс. экз./м<sup>2</sup> в июле до 3,0 тыс. экз./м<sup>2</sup> осенью. Биомасса составляла 4,0 г/м<sup>2</sup> весной, летом снижалась до 2,2 г/м<sup>2</sup> и осенью составила 3,6 г/м<sup>2</sup>. Анализ бентофауны р. Орловка показал, что в апреле основными организмами бентоса были личинки *Simuliidae* (38 % общей численности), *Chironomidae* (32 %) и *Ephemeroptera* (21 %). Основу биомассы составляли *Trichoptera* (36 %), *Ephemeroptera* (31 %), *Mollusca* (16 %). В июле, *Chironomidae*, составлявшие 34 % общей численности, и *Simuliidae* (32 %), также сохраняли свое численное преимущество над остальными группами бентоса, но основой биомассы являлись *Mollusca* (35 %) и *Simuliidae* (19 %). Биомасса групп *Trichoptera* и *Ephemeroptera* составляла 13 % и 15 %. В сентябре численность *Chironomidae* составила 66 % от общей численности, а основу биомассы составили *Trichoptera* (39 %) и *Plecoptera* (24 %). Биомасса хирономид была на высоком уровне и составляла 14 %.

В р. Домашняя осенью биомасса и численность бентоса были весьма значительными и составили 6,8 г/м<sup>2</sup>, 2,8 тыс. экз./м<sup>2</sup>. Основу численности составляли кормовые организмы: личинки *Ephemeroptera* (32 %), *Chironomidae* (25 %), *Trichoptera* (17 %), а по биомассе доминировали *Trichoptera* (53 %), *Ephemeroptera* (21 %), *Plecoptera* (15 %).

В р. Кица численность зообентоса изменялась от 7,0 тыс. экз./м<sup>2</sup> весной до 5,0 тыс. экз./м<sup>2</sup> летом и 4,1 тыс. экз./м<sup>2</sup> осенью. Биомасса весной составляла 8,3 г/м<sup>2</sup>, летом 7,2 г/м<sup>2</sup>, осенью 5,5 г/м<sup>2</sup>. В апреле основу численности бентоса составляли личинки *Chironomidae* (41 %), *Simuliidae* (25 %), *Plecoptera* (14 %), а по биомассе преобладали *Trichoptera* (25 %), *Plecoptera* (19 %), *et Diptera* (17 %) и *Chironomidae* (10 %). В июле основными организмами по численности были *Chironomidae* (34 %), *Plecoptera* (13 %), а по биомассе преобладали *Mollusca* (28 %), *et Diptera* (26 %), *Plecoptera* (16 %). В сентябре основными организмами зообентоса по численности были личинки *Chironomidae* (68 %) и *Trichoptera* (14 %), по биомассе доминировали *Mollusca* (25 %), *Chironomidae* (24 %) и *Diptera* (19 %).

Участок р. Кола, на котором выпускают молодь семги, характеризовался следующими показателями численности организмов бентоса: 0,6 тыс. экз./м<sup>2</sup> летом и 1,0 тыс. экз./м<sup>2</sup> в сентябре. Биомасса, составила соответственно, 1,6 г/м<sup>2</sup> и 6,7 г/м<sup>2</sup>.

Летом численно преобладали *Chironomidae* (30 %), *Plecoptera* (14 %), *imago* насекомых (10 %), *Ephemeroptera* (9 %). Основу биомассы составляли *Mollusca* (74 %) и *Ephemeroptera* (10 %). В сентябре по численности преобладали *Ephemeroptera* (52 %), *Chironomidae* (17 %) и *Trichoptera* (11 %), а биомассу создавали *Mollusca* (51 %), *Oligochaeta* (21 %).

Показатели 2007 г., напротив, отличаются низкими значениями плотности организмов и биомассы. Наименьшая численность бентосных организмов в апреле составляла 0,44 тыс. экз./м<sup>2</sup> в р. Кица, наибольшая 0,93 тыс. экз./м<sup>2</sup> в р. Орловка. Биомасса в этот период в р. Кица составляла 0,6 г/м<sup>2</sup>, в р. Орловка 0,48 г/м<sup>2</sup>. В июле максимальные значения численности наблюдались в р. Орловка 1,35 тыс. экз./м<sup>2</sup>, при небольшой биомассе 0,83 г/м<sup>2</sup>. В основном русле р. Кола показатели составили 0,52 тыс. экз./м<sup>2</sup> и 0,92 г/м<sup>2</sup>.

В р. Кица в апреле (за месяц до выпуска заводской молоди) по численности преобладали *Chironomidae* (48 %), *Mollusca* (29 %), *Trichoptera* (8 %), а по биомассе *Oligochaeta* и *Mollusca* (по 33 %), *Chironomidae* (15 %) и *Trichoptera* (14 %).

В р. Орловка в апреле численно доминировали *Chironomidae* (61 %), основу биомассы составляли *Oligochaeta* (33 %), *Ephemeroptera* и *Mollusca* (по 21 %), *Chironomidae* (16 %). В июле *Chironomidae* сохранили свое численное преимущество над остальными группами бентоса (73 %). По биомассе доминировали *Oligochaeta* (42 %), *Ephemeroptera* (17 %), *Chironomidae* (17 %), *Trichoptera* (10 %). В р. Домашней в июле численность составила 0,86 тыс. экз./м<sup>2</sup>, а биомасса 2,02 г/м<sup>2</sup>. Основу численности составляли кормные для молоди лосося организмы: личинки *Chironomidae* (73 %), *Plecoptera* (6 %), а по биомассе основу составляли *Oligochaeta* (56 %), *Hirudinea* (30 %).

В основном русле р. Кола (ПУЗ) доминировали по численности *Chironomidae* (48 %), *Ephemeroptera* (14 %), *Oligochaeta* (14 %). По биомассе доминировали *Oligochaeta* (59 %), *Ephemeroptera* (16 %), *Chironomidae* (13 %).

Таким образом, анализ количественного и качественного состава показал, что за исследуемый период развитие зообентоса и, следовательно, кормовой базы в р. Кола и её притоках было наилучшим в 2006 г., и этот год можно охарактеризовать как продуктивный. В пробах встречалось большое количество кормных для молоди лосося организмов, а также личинок насекомых одной группы на разных стадиях развития. Это связано с благоприятно сложившимся гидрологическим режимом реки (формированием весеннего половодья, сезонными и годовыми изменениями уровня и температурного режимов воды).

Наименьшие показатели численности и биомассы отмечены на всех исследованных участках рек в 2007 г.

По уровню развития кормовой базы биотоп р. Кица наиболее разнообразен. В основном русле р. Кола показатели численности и биомассы зообентоса были ниже, чем в притоках. Такая же закономерность прослеживается и для других речных систем, например в системе р. Варзуга (Барышев, 2005).

Несмотря на то, что показатели численности и биомассы зообентоса на участке Кола (ПУЗ) в разные годы были невысоки, необходимо отметить, в 2003 г. в пробах зообентоса на этом участке

хириноид не было обнаружено, а в питании молоди доля хироноид была высока. В 2004–2005 гг. численность хироноид в бентосе составляла 14–15 %, а в питании молоди хироноиды практически отсутствовали. В 2006 г. их численность в бентосе возросла до 30 %, и хироноиды снова появились в рационе как диких, так и заводских рыб. Можно сказать, что хироноиды представляют собой основную и весьма стабильную группу реофильного биоценоза, являясь при этом основной кормовой базы, и обеспеченность рыб кормом в р. Кола во многом зависит от уровня их развития и сезонной динамики.

В результате выполненных исследований установлено, что обследованные участки р. Кола и её притоков по численности и биомассе в 2006 г. соответствовали среднему (второму) уровню развития кормовой базы молоди семги по шкале, предложенной А. Ю. Шустовым (Шустов, 1983). Предшествующие годы по данной шкале характеризовались, как годы низкого уровня кормности. В целом, в основном русле р. Кола показатели численности и биомассы зообентоса были невысоки и обычны для рек Кольского полуострова (Смирнов, 1985).

При проведении рыбоводных мероприятий (выпуск молоди) необходимо ориентироваться на уровень кормности водоема, состав бентоса и его динамику. Мониторинг состояния бентоса на заселяемых выростных участках позволит регулировать периодичность и численность выпускаемой заводской молоди с учетом экологической емкости рек. Так, например, в 2005 г. в реке Орловка отмечалась низкая численность основных кормовых организмов, а в питании большое количество случайной пищи и выпуск заводской молоди в 2006 г. не осуществлялся. В 2006 г. отмечено значительное улучшение состояния кормовой базы, что позволяет рекомендовать выпуск заводской молоди в эту реку в дальнейшем.

#### Литература

Барышев И.А., Веселов А.Е., Зубченко А.В., Калужин С.М., 2005. Кормовая база атлантического лосося в бассейне реки Варзуга//Биология, воспроизводство и состояние запасов анадромных и пресноводных рыб Кольского полуострова. Мурманск: Изд-во ПИНРО. С.21–30

Методическое пособие по изучению питания и пищевых отношений рыб в естественных условиях.,1974. – М.: Наука, 253 с.

Методические рекомендации по изучению гидробиологического режима малых рек., 1989. Составители: Комулайнен С.Ф., Круглова А.Н., Хренников В.В., Широков В.А., Петрозаводск. 28 с.

Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Задачи и методы изучения использования кормовой базы рыбой. – Л.: Изд-во ГосНИОРХ, 1984. 19 с.

Смирнов Ю.А., Шустов Ю.А., Шуров И.Л.,1985. Условия обитания дикой и заводской молоди семги в реке Коле (Кольский полуостров)//Проблемы биологии и экологии атлантического лосося. – Л., Наука, С. 130–148.

Шамрай Т.В., 2005. Состояние кормовой базы молоди атлантического лосося в некоторых реках Кольского полуострова./ Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера/ Сборник материалов IV (XXVII) Международной конференции. Вологда. С. 240–243.

Шустов Ю.А., 1983. Экология молоди атлантического лосося. Петрозаводск.152 с.

### STADY OF FOOD BASE OF THE CULTIVATED YOUNG ATLANTIC SALMON IN RIVER KOLA (KOLA PENINSULA)

T. V. Shamray

Polar Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography (PINRO), Murmansk, Russia  
e-mail: tshamray@pinro.ru

Quantitative composition of benthos and food supplies of Atlantic salmon juveniles were studied in the Kola River and its tributaries (Domashnya, Kitsa and Orlovka) in 2003–2007. Investigation were carried out in sites where young fish are annually released by Knyazhegubsky and Kandalakshsky fish-rearing stations. It was revealed that abundance and biomass of zoobenthos in the Kola River were low. However, they are typical of the rivers of the Kola Peninsula. Abundance and biomass of benthos in the main channel of the Kola were lower than in its tributaries. According to the scale suggested by A. Yu. Shustov in 2003–2005 indices of abundance and biomass were the same as in the years with poor development of food supply available for salmon juveniles. In 2006 these indices were at mean (the second) level of food supply. Monitoring of the benthos state in sites of stocking and rearing will permit to control periodicity and numbers of released fish juveniles taking into account ecological capacity of rivers.

## ВОЗРАСТНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛАСТИЧЕСКОГО И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБМЕНА У РЫБ

**М.И. Шатуновский**

Учреждение Российской академии наук Институт проблем экологии и эволюции  
им. А.Н. Северцова РАН г. Москва, Россия  
e-mail: admin @ sevin.ru

В онтогенезе рыб, как и других животных, постоянно снижается интенсивность синтеза белка. В течение периода зрелого состояния организма увеличивается доля генеративного обмена в общем обмене и снижается эффективность использования ассимилированной пищи на прирост соматических тканей. Это требует постоянно возрастающих затрат пластических и энергетических веществ. Растущее в онтогенезе содержание липидов обеспечивает энергией процессы энергетического и генеративного обмена. (Шатуновский, 2001).

По данным Г.Д. Бердышева (1968), с возрастом у рыб значительно снижается активность ряда ферментов – нуклеаз, уменьшается также участие белка в окислительном обмене и возрастает значение жира; увеличивается содержание гликогена в печени и мышцах.

У многих видов, характеризующихся относительно высокими тратами на генеративный обмен, в течение завершающих фаз вителлогенеза интенсивно используются не только запасные, но частично и структурные белки (Love, 1970).

В связи с возрастным снижением синтеза белка в организме на фоне постоянно увеличивающихся затрат на генеративный обмен с каждым последующим нерестом увеличивается степень посленерестового истощения рыб. Это четко продемонстрировано для балтийской трески (Шатуновский и др., 1975). У рыб со средней и большой продолжительностью жизни (6–15 лет) период зрелого состояния занимает значительную часть жизненного цикла. В течение этого периода снижаются такие интегральные показатели обмена как интенсивность потребления кислорода и эффективность использования энергии на прирост органического вещества. Поддержание гомеостаза происходит также за счет увеличения депонированных запасных органических веществ и увеличения кислородной емкости крови (Коржуев, 1963; Das, 1965). В онтогенезе меняется фракционный состав белков и липидов. В частности, в составе липидов уменьшается доля фосфолипидов, возрастает содержание триацилглицеридов – основной фракции запасных липидов, снижается содержание высоконасыщенных жирных кислот – основных донаторов энергии на ранних стадиях развития (Шатуновский, 1980). С другой стороны, увеличивается относительное содержание моноеновых жирных кислот, глюкозы и гликогена. Меняется фракционный анализ белков отдельных органов и тканей; в частности, обнаружены возрастные изменения фракционного состава гемоглобина (Love, 1970; Гераскин, 1978).

Косвенным доказательством снижения интенсивности синтеза белка в организме рыб в онтогенезе является тенденция к постепенному снижению количества белка в крови и увеличению доли гамма-глобулинов, наблюдающаяся у ряда видов рыб: наваги, сельди, трески. Одной из причин снижения интенсивности синтеза альбуминов с возрастом, очевидно, является уменьшение активности белоксинтезирующих ферментов. В составе липопротеидов сыворотки крови увеличивается доля липоальбумина, в липидной фракции которого доминируют триацилглицериды и свободные жирные кислоты (Шатуновский и др., 1967). Это соответствует общей возрастной тенденции в синтезе липидов, направленной на накопление нейтральных липидов – основной фракции запасных липидов, обеспечивающих возрастающую долю энергетического обмена в общем обмене.

У половозрелых рыб с возрастом значительно увеличивается масса тела. Многие виды достигают половой зрелости при массе тела, составляющей 1/5–1/10 от конечной. Увеличение индивидуальной абсолютной плодовитости у рыб связано линейной зависимостью с массой тела. Таким образом, быстрое наращивание массы тела ведет к увеличению воспроизводительного потенциала особи и компенсирует снижение общего воспроизводительного потенциала нерестового стада, происходящего в результате естественной убыли. Теоретически возрастная динамика весовых приростов рыб выражается цепной кривой с одним максимумом. Фактические кривые годовых весовых приростов у исследованных видов рыб имеют несколько иную форму с несколькими пиками.

Появление этих пиков связано с чередующимися в онтогенезе периодами ухудшения и улучшения обеспеченности популяции пищей (Шатуновский, 1965). Обеспеченность пищей ухудшается при растущем несоответствии пищевых потребностей рыб реальным рационам. Переход на более

крупные или более агрегированные пищевые объекты ведет к увеличению обеспеченности пищей и повышению темпа роста. Как правило, у мелких планктофагов (снеток, шпрот, сардина) такого перехода в онтогенезе не наблюдается. У средних по размерам и крупных пелагических рыб (ставрида, сайда и др.) при переходе на питание рыбой резко увеличивается скорость роста. Часто смена характера питания в онтогенезе у рыб связана с изменениями в морфологии челюстного аппарата. Можно отметить корреляцию между увеличением относительных размеров челюстей беломорской речной камбалы, размером их пищевых объектов и характером ежегодных приростов массы тела.

При рассмотрении особенностей весового роста рыб в течение периода достижения половозрелости необходимо, по нашему мнению, учитывать два обстоятельства: степень соответствия реального и максимального рационов и эффективность утилизации потребленной и ассимилированной пищи на рост. У донных рыб со средней продолжительностью жизненного цикла, по данным экспериментальных работ, коэффициенты использования пищи на рост в онтогенезе снижаются постепенно. Резкое снижение величин ежегодных весовых приростов, отмечающееся в ряде случаев у этих рыб, обусловлено не снижением эффективности использования пищи на рост, а растущим несоответствием реальных и максимальных пищевых рационов (Шатуновский, 1978). Как только представляется возможность увеличить реальный рацион, скорость роста возрастает.

### Литература

- Бердышев Г.Д., 1968. Эколого-генетические факторы старения и долголетия. Л.: Наука. 205 с.
- Гераскин П.П., 1978. Видоспецифичность фракционного состава гемоглобина крови осетровых и динамика его формирования в раннем онтогенезе: Автореф. дис. ...канд.биол.наук. Севастополь.: ИНБЮМ АН СССР. 23 с.
- Коржуев П.А., 1963. Эколого-физиологические особенности крови осетровых рыб //Вопр. ихтиол. Т. 3, № 1. С. 152–157.
- Шатуновский М.И., 1965. Особенности роста речной камбалы восточной части Балтийского моря //Вопр. ихтиол. Т. 5, № 3. С. 518–531.
- Шатуновский М.И., Богоявленская М.П., Вельтищева И.Ф., Масленникова Н.В., 1975. Исследования генеративного обмена балтийской трески //Труды ВНИРО. Т. 96, С. 57–62.
- Шатуновский М.И., 1978. Годовые балансы вещества и энергии у отдельных возрастных групп трески, пикши, салаки и камбалы // Труды ВНИРО. Т.120. С. 13–19.
- Шатуновский М.И., 1980. Экологические закономерности обмена веществ морских рыб. М.: Наука. 283 с.
- Шатуновский М.И., 2001. Эколого-физиологические подходы к периодизации онтогенеза рыб. Экологические проблемы онтогенеза рыб. /Ред. Н.Д.Озернюк. М.: МГУ. С. 13–19.
- Das B.C., 1965. Age- related trends in the blood chemistry and hematology of the indian carp. // Gerontologia. V.15, N1.P. 47–64.
- Love R.M., 1970. The chemical biology of fishes. N.Y., London: Acad. Press. 545 p.

## АТМОСФЕРНЫЙ ПЕРЕНОС ВЕЩЕСТВА (ВКЛЮЧАЯ ЭКОТОКСИКАНТЫ) В БЕЛОЕ МОРЕ И НА ЕГО ВОДОСБОР

**В.П. Шевченко<sup>1</sup>, А.П. Лисицын<sup>1</sup>, Р.А. Алиев<sup>2</sup>, А.А. Виноградова<sup>3</sup>, Н.С. Замбер<sup>4</sup>,  
О.Л. Кузнецов<sup>5</sup>, А.Н. Новигатский<sup>1</sup>, Н.В. Политова<sup>1</sup>, А.С. Филиппов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Учреждение Российской академии наук Институт океанологии  
им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия

<sup>2</sup> НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ, г. Москва

<sup>3</sup> Учреждение Российской академии наук Институт физики атмосферы  
им. А.М. Обухова РАН, г. Москва

<sup>4</sup> Костомукшский государственный заповедник, г. Костомукша

<sup>5</sup> Учреждение Российской академии наук Институт биологии  
Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск  
e-mail: vshevch@ocean.ru

### Введение

Арктика оказывает огромное влияние на природную среду Земли. Северный Ледовитый океан и его обширные мелководные шельфовые моря являются важным звеном в понимании современной глобальной климатической системы и ее вариаций. Традиционно речной сток считают главным

геохимическим путем поставки терригенных и антропогенных веществ от источников в морскую среду, однако существует много данных, показывающих, что атмосферный перенос является важным путем поставки вещества в моря и океаны. Исследования последних 20 лет показали, что золотой и ледовый механизмы переноса вещества играют важную роль также и в Арктике [Лисицын, 1994а; Виноградова, 2004; Шевченко, 2006].

Белое море изучено лучше, чем любое из морей Арктики. Однако роль атмосферного переноса вещества в поставке различных химических элементов, в том числе и токсичных, в его экосистему изучены слабо. Материал, поступивший из атмосферы в бассейн Белого моря и на его водосбор, оседает на поверхность моря или накапливается в природных архивах – снеге, льдах, а также в лишайниках, мхах, отложениях болот (в первую очередь, верховых). Исследования аэрозолей Белого моря были начаты нами в 1991 г. [Шевченко и др., 1999]; многодисциплинарные исследования золотого переноса осадочного вещества в бассейне Белого моря и на его водосборе проводятся нами в рамках проекта «Система Белого моря» с 2000 г. [Лисицын, 2003].

### **Материалы и методы**

Изучение аэрозолей в Белом море проводились в 1991–2008 гг. в одном рейсе НИС «Яков Смирницкий», двух рейсах НИС «Академик Сергей Вавилов», в пяти рейсах НИС «Профессор Штокман», одном рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш», а также в сухопутных и прибрежных экспедициях – на мысе Картеш (Кандалакшский залив) в марте–апреле 2004 г., на о. Мудьюгский в 2003–2004 гг., в Архангельске в марте 2005 г. и августе 2006 г., в окрестностях Унского маяка (Онежский п-ов) в августе 2006 г. Исследования снега и льда выполнялись в рейсе НЭС «Сергей Кравков» в апреле 2003 г., на мысе Картеш в марте–апреле 2001, 2002 и 2004 гг., в устьевой зоне Северной Двины и в прилегающих районах Архангельской области в феврале–марте 2003–2008 гг., в устьевой зоне р. Мезень в феврале 2006 г., в районе г. Костомукша в марте–апреле 2007 и 2009 гг. На метеостанции «Соловки» и на Архангельской аэрологической станции изучаются вертикальные потоки осадочного материала из атмосферы. С помощью расчета обратных траекторий переноса воздушных масс [Draxler, Rolph, 2003] авторы оценивают источники аэрозолей и пути их поступления в Белое море. На прилегающих к Белому морю участках суши производится отбор проб лишайников, мхов и торфа для оценки степени загрязнения атмосферы. При изучении верховых торфяников (вертикальные разрезы) удастся изучить изменения потока аэрозольных веществ и компонентов во времени – за последние десятки-сотни, а в некоторых случаях (бурение) и тысячи лет. Методы исследований описаны в ряде работ [Шевченко и др., 1999, 2006а,б, 2007, 2008а,б; Куценогий и др., 2005; Немировская, 2005, 2009; Польшин и др., 2006, 2008; Шевченко, 2006; Немировская и др., 2008].

### **Результаты и их обсуждение**

Исследование аэрозолей приподнятого слоя атмосферы над Белым морем показало, что концентрация нерастворимых аэрозольных частиц над Белым морем составляет в среднем за год  $0,17 \text{ мкг/м}^3$  и близка к среднему значению для арктических морей России, а поток золотого материала на поверхность Белого моря составляет 54 тыс. т/год. Это значительно ниже поступления взвеси с речным стоком (суммарный сток Северной Двины, Мезени и Онеги – трех крупнейших рек, впадающих в Белое море – составляет 5 млн т/год [Gordeev, Rachold, 2004]), но если учесть, что около 95% взвеси осаждается в маргинальных фильтрах [Лисицын, 1994б, 2004], то вклад золотого переноса в поставку осадочного вещества в удаленные от устьев крупных рек районы моря оказывается существенным [Шевченко, 2006; Виноградова и др., 2008]. Особенно это актуально для ряда загрязняющих веществ (свинец, кадмий, ртуть, мышьяк, медь, никель, стойкие органические соединения). Полученные в августе 2003–2007 гг. данные о микрофизических характеристиках аэрозоля и его химическом составе [Польшин и др., 2006, 2008] убедительно свидетельствуют о том, что большая часть акватории Белого моря в основном является фоновым районом. Однако ряд участков акватории моря подвержен ощутимому аэрозольному выносу загрязняющих веществ (устьевая зона р. Северная Двина, кутовые части Двинского и Кандалакшского заливов).

Мощные источники антропогенного аэрозоля, расположенные на севере Кольского полуострова, оказывают заметное воздействие на состав приземного воздуха, атмосферных осадков и вод Белого моря [Виноградова и др., 2008]. Сезонные вариации атмосферных концентраций тяжелых металлов и их потоков на поверхность моря регулируется, главным образом, режимом атмосфер-

ных осадков: в воздухе максимальное содержание тяжелых металлов наблюдается в холодную часть года, а самые значительные их выпадения на поверхность моря происходят летом и осенью в условиях максимального количества жидких осадков.

В Белом море и в его водосборе снежно-ледовый покров существует около полугода, и здесь идет накопление вещества, вымываемого снегом и поступившего в результате локального, регионального и глобального переноса аэрозолей. Содержание взвеси в поверхностном слое снежного покрова губы Чупа близ мыса Картеш в середине марта 2001 г. варьировало от 0,5 до 1,6 мг/л, в среднем 0,72 мг/л, а в начале апреля 2002 г. – от 0,22 до 0,50 мг/л [Шевченко и др., 2006б]. По результатам сканирующей электронной микроскопии видно, что в составе нерастворимых частиц, содержащихся в снежном покрове губы Чупа, преобладают минеральные частицы размером 1–5 мкм. Часто встречаются диатомеи. Отмечены отдельные сферы сгорания. Детальные исследования состава снега были проведены в период с 26 марта по 8 апреля 2004 г. Пробы снега отбирались как на льду губы Чупа, так и на льду озера Кривое и на открытой, свободной от деревьев площадке на холме. Концентрации нерастворимых частиц в снеге варьировала от 0,33 до 2,63 мг/л, в среднем составляя 0,84 мг/л ( $n = 16$  проб). Такие концентрации нерастворимых частиц характерны для фоновых районов. Концентрация большинства изученных микроэлементов, например, никеля в свежеснеге на льду губы Чупа была того же порядка, что и в фоновых районах Арктики, но значительно ниже, чем на Кольском полуострове, а свинца и кадмия на один – два порядка выше [Шевченко, 2006]. Содержание взвеси в снежном покрове дельты р. Северная Двина в марте 2005 г. и феврале 2006 г. в большинстве случаев варьировало от 2 до 20 мг/л и резко возрастало близ теплоэлектростанций. Взвешенное вещество снега состоит по большей части из сажевых агрегатов и пепловых частиц [Шевченко, 2006; Шевченко, Коробов, 2006].

На льду губы Чупа содержание органических соединений в снежно-ледяном покрове изменялось:  $C_{орг}$  – от 283 до 8390 мкг/л, липидов – от 90 до 621 мкг/л, углеводов (УВ) – от 80 до 309 мкг/л, полициклических ароматических углеводов (ПАУ) – от 86 до 347 нг/л [Немировская и др., 2008; Немировская, 2009]. Для сравнения, в северной части Баренцева моря содержание алифатических УВ в снеге составило в среднем 18 мкг/л, а в районе поднятия Менделеева – 5 мкг/л [Немировская, 2005; Немировская и др., 2008]. Концентрации органических соединений увеличивались к границе лед-вода, и в нижних слоях керна льда они были в 2,3–15 раз выше, чем в подледной воде. Такое распределение органических соединений является типичным как для припайных, так и паковых льдов в Арктике и Антарктике. Барьерная зона вода-лед даже при низких температурах остается активной биологической средой, в которой происходит развитие ледовой флоры. Высокая слоистость и пористость льдов создают условия для аккумуляции здесь не только планктонных организмов, но и органических соединений во взвешенной форме. Исследование снежно-ледяного покрова в устьевой зоне р. Северной Двины было проведено от г. Новодвинска до о. Мудьюгский в Двинском заливе [Немировская и др., 2008; Немировская, 2009]. Содержание органических соединений оказалось еще более высоким, чем в губе Чупа, с максимумом для липидов – 1743 мкг/л и для УВ – 119 мкг/л. При этом в снеге их содержание было значительно выше, чем во льдах и подледных водах. Последнее может свидетельствовать об их атмосферном поступлении в составе аэрозолей.

Содержание тяжелых металлов в эпигейных лишайниках, собранных в фоновых областях Карелии и Архангельской области (о. Вайгач, о. Кумбыш и т.д.), относительно невысокое. Однако, на Кольском п-ве в Ловозерских тундрах лишайники значительно обогащены Cu, Ni, редкоземельными и некоторыми другими элементами в результате аэрозольной поставки загрязнителей от медно-никелевых металлургических комбинатов и горнодобывающей промышленности Кольского полуострова [Shevchenko et al., 2008].

Авторами изучен состав проб торфа, отобранных на полуострове Киндо (Кандалакшский залив) экспедицией географического факультета МГУ (начальник экспедиции Ф.А. Романенко) в начале июня 2004 г. [Шевченко и др., 2007]. Наиболее детально изучен состав отложений скважин 4 (66°32,552' с.ш., 33°08,257' в.д., 27,5 м над уровнем моря) и 11 (66°32,717' с.ш., 33°06,333' в.д., 72 м над уровнем моря), отобранных в болотах озерного генезиса. Активность  $^{137}\text{Cs}$  в поверхностном 5-см слое (моховая подушка, состоящая в основном из сфагновых мхов) скважины 11 составляет 36 Бк/кг. Это значение находится на фоновом уровне и значительно ниже активности этого техногенного радионуклида во мхах и почвах Европейской части России [Киселев и др., 2005]. Активность



<sup>137</sup>Cs быстро падает до величин менее 1 Бк/кг в слое торфа 0,30–0,35 м. Содержание Cu в верхней 25-см части торфяной залежи на месте скважин 4 и 11 варьирует от 9,1 до 80,2 мг/кг, Ni – от 5,4 до 32,2 мг/кг, т.е. в 4–5 раза, а в отдельных слоях и на порядок выше, чем в торфяниках Томской области [Гавшин и др., 2003], Южной Карелии [Кузнецов и др., 1983; Максимов и др., 1991; Максимов, 2005] и фоновых районов Финляндии [Rausch et al., 2005]. В то же время, в окрестностях медно-никелевого комбината Харявалта (Harjavalta) в Финляндии содержание Cu в торфе верхового болота в несколько раз выше (до 600 мг/кг [Rausch et al., 2005]), чем в торфе болота на полуострове Киндо. Для Cd и Pb, опасных для окружающей среды, характерен дальний перенос с мельчайшими аэрозольными частицами. Содержание их в наших пробах в несколько раз ниже, чем в Томской области, поэтому в отношении этих элементов можно считать Карелию чистым фоновым районом. Содержание Cr в карельском торфянике примерно в 2 раза ниже, чем в Западной Сибири, Fe – примерно в 5 раз ниже, чем в торфяниках Томской области.

Нами изучен состав верхних слоев торфа Иласского верхового болота в 20 км к юго-востоку от Архангельска [Шевченко и др., 2008a]. Моховая дернина, состоящая из живого сфагнового мха, имеет толщину 6 см и возраст её составляет примерно 5 лет. Средняя скорость накопления торфа, залегающего глубже по разрезу, определенная по изотопу <sup>210</sup>Pb, в последние 100 лет в среднем составляла 0,17 см/год, и возраст торфа на глубине 24 см немного превышает 100 лет. Активность <sup>137</sup>Cs и содержание большинства изученных химических элементов незначительно превышают фоновые для Арктики и Субарктики значения. Молодой торф в районе исследований значительно обогащен Zn, Sb, Se. Аналогичное обогащение слоев изученных болотных и озерных отложений, датированных XIX–XX веками, отмечено в большинстве пунктов Северной Европы и Сибири [Максимов и др., 1991; Shotyk, 1997; Гавшин и др., 2003; Shotyk et al., 2003; Максимов, 2005; Rausch et al., 2005], что является результатом дальнего атмосферного переноса этих элементов-токсикантов от антропогенных и природных источников. В верхних 15 см торфа наблюдается снижение содержания этих элементов, что связано со снижением антропогенной эмиссии многих загрязняющих веществ в последние 30–40 лет. Существенного загрязнения торфа Иласского тяжелыми металлами за счет Архангельской агломерации не выявлено.

### Выводы

Атмосферный перенос вещества является существенным путем поступления многих химических элементов и соединений (в первую очередь, свинца, никеля, меди, кадмия, мышьяка, некоторых ПАУ) в Белое море и на его водосбор.

Для вертикального распределения тяжелых металлов в верховых торфяниках (природных архивах) Карелии и Архангельской области характерно обогащение ими верхнего 20–30-см слоя, обрзовавшегося в течение последних 100–200 лет.

**Благодарности.** Авторы признательны В.Б. Коробову, Л.Ю. Васильеву, В.Я. Бергеру, С.В. Тархову, Л.Э. Скибинскому, М.В. Панченко, М.А. Бизину, В.А. Боброву, В.С. Козлову, К.Г. Конову, К.П. Куценогому, И.А. Немировской, В.В. Полькину, Ф.А. Романенко, Н.В. Горюновой и всем, кто помогал в проведении исследований. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 07-05-00691, 08-05-00094; 08-05-00860), гранта поддержки ведущих научных школ НШ-361.2008.5, Программ фундаментальных исследований Президиума РАН № 16, часть 2 и № 17 (проект 17.1), проекта «Наночастицы во внешних и внутренних сферах Земли», Лаборатории им. Отто Шмидта.

### Литература

- Виноградова А. А., 2004 Антропогенный аэрозоль над морями Северного Ледовитого океана. Дисс. докт. геогр. наук. М.: ИО РАН. 217 с.
- Виноградова А. А., Максименков Л. О., Погарский Ф. А., 2008. Атмосферный перенос антропогенных тяжелых металлов с территории Кольского полуострова на поверхность Белого и Баренцева морей // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. Т. 44, № 6. С. 812–821.
- Гавшин В. М., Сухоруков Ф. В., Будашкина В. В., Мельгунов М. С., Бобров В. А., 2003. Свидетельства фракционирования химических элементов в атмосфере Западной Сибири по данным исследования верхового торфяника // Геохимия, № 12. С. 1337–1344.
- Киселев Г. П., Крячюнас В. В., Киселева И. М., Зыков С. Б., Баженов А. В., 2005. Природная радиоактивность территории Европейского Севера и ее антропогенные изменения // Геоэкология, № 3. С. 205–218.

Кузнецов О. Л., Тойка М. А., Максимов А. И., 1983. Содержание микроэлементов в торфяных залежах верховых болот Южной Карелии // Структура растительности и ресурсы болот Карелии. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР. С. 160–171.

Куценгоий К. П., Шевченко В. П., Лисицын А. П., Попова С. А., Чанкина О. В., Макаров В. И., Смоляков Б. С., Шинкоренко М. П., Бизин М. А., 2005. Химический состав атмосферных аэрозолей в районе Белого моря // Геология морей и океанов. Тезисы XVI Международной научной школы по морской геологии. Москва, 14–18 ноября 2005 г. М.: ГЕОС. Т. 1. С. 75–76.

Лисицын А. П., 1994а. Ледовая седиментация в Мировом океане. М.: Наука. 448 с.

Лисицын А. П., 1994б. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. Т. 34, № 5. С. 735–747.

Лисицын А. П., 2003. Новые возможности четырехмерной океанологии и мониторинга второго поколения – опыт двухлетних исследований на Белом море // Актуальные проблемы океанологии / Гл. ред. Н.П. Лаверов. М.: Наука. С. 501–554.

Лисицын А. П., 2004. Потоки осадочного вещества, природные фильтры и осадочные системы «живого океана» // Геология и геофизика. Т. 45, № 1. С. 15–48.

Максимов А. И., 2005. Содержание макро- и микроэлементов в торфяных залежах болотных экосистем вблизи месторождения Падма // Экологические проблемы освоения месторождения Средняя Падма. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. С. 72–81.

Максимов А. И., Егорова Г. Ф., Степаненкова В. А., Ширяева Т. А., 1991. Геохимическая характеристика торфяных залежей // Методы исследований болотных экосистем таежной зоны / Отв. ред. О.Л. Кузнецов. Л.: Наука. С. 97–110.

Немировская И. А., 2005. Углеводороды Белого моря (пути поступления, формы миграции, гензис) // Геохимия, № 5. С. 542–554.

Немировская И. А., 2009. Содержание и состав органических соединений в снежно-ледяном покрове Белого моря // Геохимия, № 4. С. 415–427.

Немировская И. А., Шевченко В. П., Новигатский А. Н., Филиппов А. С., 2008. Содержание и состав взвеси и органических соединений в снежно-ледяном покрове Белого моря // Арктика и Антарктика. М.: Наука, вып. 6 (40). С. 108–122.

Полькин В. В., Голобокова Л. П., Погодаева Т. В. и др., 2006. Состав аэрозолей приповерхностного слоя атмосферы над Белым морем во второй половине августа 2003 и 2004 гг. // Фундаментальные исследования океанов и морей. Кн. 2. М.: Наука. С. 413–439.

Полькин В. В., Панченко М. В., Грищенко И. В., Коробов В. Б., Лисицын А. П., Шевченко В. П., 2008. Исследования дисперсного состава приповерхностного аэрозоля Белого моря в конце летнего сезона 2007 г. // Оптика атмосферы и океана. Т. 21, № 10. С. 836–840.

Шевченко В. П., 2006. Влияние аэрозолей на среду и морское осадконакопление в Арктике. М.: Наука. 226 с.

Шевченко В. П., Алиев Р. А., Денисенков В. П., Нацваладзе Н. Ю., Золотых Е. О., Исаева А. Б., 2008а. Многоэлементный состав и радиоактивность отложений Иласского болота (Архангельская область) // Вестник Архангельского государственного технического университета. Серия «Прикладная геоэкология». Вып. 75. С. 67–84.

Шевченко В. П., Алиев Р. А., Кузнецов О. Л., Максимов А. И., 2008б. Летопись потока тяжелых металлов и радионуклидов из атмосферы в болотных отложениях Карелии // Организмы, популяции, экосистемы: проблемы и пути сохранения биоразнообразия. Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Водные и наземные экосистемы: проблемы и перспективы исследований» (Вологда, Россия, 24–28 ноября 2008 г.). Вологда. С. 168–171.

Шевченко В. П., Бобров В. А., Романенко Ф. А., Алиев Р. А., Гордеев В. В., Демина Л. Л., Колмогоров Ю. П., Новичкова Е. А., Олюнина О. С., Успенская О. Н., 2007. Геохимия озерно-болотных отложений полуострова Киндо, побережье Северной Карелии // Геология морей и океанов. Материалы XVII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. III. М.: ГЕОС. С. 295–297.

Шевченко В. П., Коробов В. Б., 2006. Экологическая ситуация в дельте реки Северная Двина в марте 2005 года // Вестник Архангельского государственного технического университета. Серия «Прикладная геоэкология». Вып. 66. Архангельск: Изд-во АГТУ. С. 176–187.

Шевченко В. П., Лисицын А. П., Бобров В. А., Новигатский А. Н., Филиппов А. С., Романенко Ф. А., Гордеев В. В., Демина Л. Л., Алиев Р. А., Горюнова Н. В., Саввичев А. С., Высочанская А. А., Зезина Е. А., Новичкова Е. А., Олюнина О. С., 2006а. Аэрозоли в природных планшетах Арктики // Современные экологические проблемы Севера (к 100-летию со дня рождения О.И. Семенова-Тян-Шанского). Материалы международной конференции. Ч. 1. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН. С. 19–21.

Шевченко В. П., Лисицын А. П., Купцов В. М., Ван-Малдерен Г., Мартэн Ж.-М., Ван-Грикен Р., Хуан В. В., 1999. Состав аэрозолей в приповерхностном слое атмосферы над морями западного сектора Российской Арктики // Океанология. Т. 39, № 1. С. 142–151.

Шевченко В. П., Ратькова Т. Н., Бояринов П. М., Митрохов А. В., Садовникова И. В., Сергеева О. М., 2006б. Исследование взвеси, микроводорослей и потоков осадочного вещества в губе Чупа, Белое море в конце зимнего периода // Водные ресурсы Европейского Севера: итоги и перспективы исследований. Материалы юбилейной конференции, посвященной 15-летию Института водных проблем КарНЦ РАН. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, С. 520–537.

Draxler R. R., Rolph G. D., 2003. HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory). Silver Spring (MD): NOAA Air Resources Lab. Mod access via NOAA ARL READY Website (<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>).

Gordeev V. V., Rachold V., 2003. River input // Organic Carbon Cycle in the Arctic Ocean: Present and Past / Eds. R. Stein, R. W. Macdonald. Berlin: Springer. P. 33–41.

Rausch N., Nieminen T., Ukonmaanaho L., Le Roux G., Krachler M., Cheburkin A. K., Bonani G., Shotyk W., 2005. Comparison of atmospheric deposition of copper, nickel, cobalt, zinc, and cadmium recorded by Finnish peat cores with monitoring data and emission records // Environ. Sci. Technol. V. 39. P. 5989–5998.

Shevchenko V. P., Pokrovsky O. S., Vasyukova E. V., Savvichev A. S., Zamber N. S., 2008. Multi-element composition of terricolous lichens in the Northwest European Russia // Eos Trans. AGU, 89(53), Fall Meet. Suppl. Abstract C11A-0492.

Shotyk W., 1997. Atmospheric deposition and mass balance of major and trace elements in two oceanic peat bog profiles, northern Scotland and the Shetland Islands // Chemical Geology. V. 138. P. 55–72.

Shotyk W., Goodsite M. E., Roos-Barracough F., Frei R., Heinemeier J., Asmund G., Lohse C., Hansen T. S., 2003. Anthropogenic contributions to atmospheric Hg, Pb, and As accumulation recorded by peat cores from southern Greenland and Denmark dated using the  $^{14}\text{C}$  «bomb pulse curve» // Geochimica et Cosmochimica Acta. V. 67. P. 3991–4011.

## **ATMOSPHERIC INPUT OF MATTER (INCLUDING ECOTOXICANTS) TO THE WHITE SEA AND ITS CATCHMENT AREA**

**V.P. Shevchenko<sup>1</sup>, A.P. Lisitzin<sup>1</sup>, R.A. Aliev<sup>2</sup>, A.A. Vinogradova<sup>3</sup>, N.S. Zamber<sup>4</sup>, O.L. Kuznetsov<sup>5</sup>, A.N. Novigatsky<sup>1</sup>, N.V. Politova<sup>1</sup>, A.S. Filippov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow

<sup>3</sup>Oboukhov Institute of Atmospheric Physics of Russian Academy of Sciences, Moscow

<sup>4</sup>Kostomukhsky State Nature Reserve, Kostomuksha, Russia

<sup>5</sup>Institute of Biology of Karelian Research Center of Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia  
e-mail: vshevch@ocean.ru

Since 1991 we study aerosols in the White Sea boundary layer and the chemical composition of snow, lichens, mosses, peat in the catchment area. The existing data on atmospheric input of matter (including ecotoxins) to the White Sea and its catchment area are summarized. Atmospheric transport is important way of many chemical elements and compounds (first of all, Pb, Ni, Cd, As, some PAHs) to the White Sea system. The upper part of peat deposits is strongly enriched by Pb, Sb and some other trace metals relatively to deeper «back-ground layers» as a result of long-range transport of pollutants and associated contamination of natural surfaces.

## **ПРОБЛЕМЫ РЫБОЛОВСТВА В БЕЛОМ МОРЕ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

**А.С. Шерстков, С.Б. Фролов, В.С. Шерстков**

Северный филиал Полярного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии им Н. М. Книповича, г. Архангельск, Россия  
e-mail: frolov@sevpinro.ru

### **Введение**

Промысел большинства рыбных объектов в Белом море носит сезонный, путинный характер. В последнее время вылов большинства промысловых видов крайне невелик, и может быть значительно увеличен. Слабое место в организации промысла – это административные барьеры: запаздывание в принятии организационных решений, затягивание принятия решений, в том числе выдачи

разрешений на лов, проблемы в закреплении за пользователями промысловых участков, и прочее. Одним из позитивных решений, принятых в последнее время Правительством РФ, была отмена квотирования большинства объектов промысла, но это лишь первый шаг к тому, чтобы привлечь к практическому использованию те ресурсы, которые попадают в сферу интересов промысловиков и потребителей, и добыча которых может быть увеличена. Кроме того, уже есть сигналы, позволяющие судить о том, что отмена квотирования становится очередной «декоративной» нормой, ни в коей мере, не упрощающей положение пользователей водных биоресурсов, в первую очередь промысловиков.

Общей проблемой для всего бассейна также является отсутствие системы закупок вылавливаемого сырья на побережье. Отсутствует база для хранения и переработки рыбы, зверя, водорослей. В 80-е годы эти функции выполняла система Гослова. В настоящее время множество мелких пользователей, бригад, артелей заняты непосредственно на промысле и не имеют возможностей заниматься хранением и доставкой продукции потребителю, а многочисленные посредники пользуются безвыходным положением промысловиков. Продукция скупается по заниженным ценам, и промысел постепенно вымирает.

Учитывая сложившуюся ситуацию и тенденции ее развития, мы считаем необходимым передать ее широкой огласке, и обзорно рассматриваем в представленных материалах существующие проблемы прежде всего на примере беломорской сельди – основного объекта промысла в Белом море.

### Результаты и обсуждение

**Сельдь** – основной промысловый объект Белого моря, от добычи которой зависит успех деятельности ряда рыбодобывающих предприятий Мурманской, Архангельской областей и Республики Карелия. С 1994 по 2006 гг. наблюдалось неуклонное снижение уловов этой рыбы, что являлось следствием, как биологических причин, так и социально-экономических процессов. Слабое освоение водных биоресурсов Белого моря стало отличительной чертой нашего времени. Система распределения квот не работала, общий вылов неуклонно падает.

В 1988–1998 гг. наибольшая доля вылова приходилась на Карелию – 58,8%, на Архангельскую область приходилось 30,6%, Мурманскую область – 10,6%. В конце 80- начале 90-х годов вылов достигал величины 2200 т. Затем в большей степени из-за организационных неурядиц и снижения промыслового усилия, вылов сократился до предельно низкого уровня – 288 т (табл.1). При этом наибольшее падение добычи отмечается в Карелии, с 549 т в 1998 году вылов снизился до 55 т в 2005 году, наименьший за весь период наблюдений. В Мурманской области вылов в течение последних лет не превышает 100 т.

Таблица 1

Вылов беломорской сельди по субъектам РФ, т

год	Архангельская обл.	Мурманская обл.	Республика Карелия	Всего
1998	82	28	549	659
1999	143	60	238	441
2000	117	52	242	411
2001	560	34	284	877
2002	457	65	162	684
2003	556	78	170	804
2004	542	86	117	745
2005	447	56	55	558
2006	389	35	97	545
2007	211	4	73	288
2008	359	56	62	477

Произошедшие заметные изменения в миграционном поведении сельди привели к катастрофическому падению величин её добычи в Сорокской губе Онежского залива, в 60–80-е годы основного района концентрированного лова, что повлекло за собой общее снижение вылова.

В Мурманской области основная часть рыбы добывается летом, когда спрос из-за низких потребительских свойств продукции ограничен. Траловый лов здесь не ведётся, хотя для этого есть все возможности. Несмотря на то, что действующие правила рыболовства допускают применение разно-

глубинных тралов для лова беломорской сельди, на практике лов оказывается запрещён в силу отказа выдачи разрешений на лов соответствующими структурами Росрыболовства по неясным причинам. Лов производится только ставными и закидными неводами, что существенно ограничивает возможности добычи. Величина вылова настолько мала, что можно говорить о существовании в Кандалакшском заливе и у Терского берега Бассейна необлавливаемой экологической группировки.

Наибольшая часть в совокупном вылове принадлежит сейчас предприятиям Архангельской области, увеличившись с 63,9% в 2001 году до 80,1% в 2005 году.

Недостаток существующей системы – слабая управляемость трансграничным запасом сельди. Органы власти трех прибалтийских субъектов федерации не проявляют интереса к решению данного вопроса и практически не контактируют друг с другом, либо не могут найти общего языка. В результате фактически акватория Белого моря, прилегающая к территории Мурманской области недоступна для промысла рыбодобывающими предприятиями Карелии и Архангельской области. До настоящего времени существовал консервативный подход к распределению квот на вылов, не учитывались изменения в уровне добычи. Так, традиционно с 80-х годов предприятия Карелии получали 60% общей квоты, этот объём хронически не осваивался, но, несмотря на это, положение сохранялось неизменным. Пересмотра этих долей по результатам года не происходило, в то же время промысловиками Архангельской области промысел прекращался из-за отсутствия квот. Оперативное перераспределение прав на вылов сельди от одного собственника другому также отсутствовало, а отсюда – неосвоение допустимых объемов вылова. Теоретически обозначенные проблемы частично снимаются состоявшимся исключением беломорской сельди из списка видов, на которые устанавливается ОДУ – но при этом, по тем же самым причинам слабого взаимодействия между субъектами, возникают новые проблемы – контроль вылова пользователями разных субъектов, предотвращение перелова и адекватное распределение промысловой нагрузки на рассматриваемый трансграничный запас.

Ранее, до 1991 года, действия соответствующих административных субъектов и предприятий, ведущих промысловую деятельность на Бассейне, координировались Беломорским рыбопромысловым советом – коллегиальным органом, объединявшим представителей всех заинтересованных и ответственных организаций, и своевременно вырабатывавшим обоснованные решения. Необходимость восстановления работы такого совета сейчас весьма актуальна.

Решение вопроса недоосвоения запасов сельди видится в расширении географии и сроков судового промысла. Наиболее эффективным судовый траловый лов сельди в Белом море является в осеннее время, в период образования предзимовальных и зимовальных скоплений. Доказана эффективность тралового лова в Восточной Соловецкой Салме. В этом районе, начиная с 2001 года, довольно успешно ведут промысел среднетоннажные суда типа СРТМк и проекта 50010 («Ягры»). Среднесуточный вылов при этом составлял порядка 8–9 т. Объём добычи до настоящего времени фактически зависел от наличия квот у собственника. Биомасса скоплений сельди в районе Восточной Соловецкой Салмы в 2007 году оценена в 5,1 тыс.т. Есть возможность организации судового лова в губах Кандалакшского залива и у Терского берега Бассейна. Предзимовальные скопления образуются в этих районах ежегодно и носят устойчивый характер.

Величина судового вылова абсолютно достоверна и легко контролируема. При этом для обеспечения рентабельности одно среднетоннажное судно (типа СРТМк) должно иметь возможность выловить не менее 200 т сельди, суда типа РС, МРТК, СТБК – не менее 30 тонн. Как показала практика, увеличение интенсивности судового лова никак не повлияло на береговой промысел – т. е., естественные опасения о возможном подрыве запасов при начале эксперимента не подтвердились.

Устойчивое повышение теплозапаса Белого моря повлекло за собой резкий сдвиг в сроках формирования зимовальных скоплений, районов зимовки. Изменились пути миграций, частично – распределение по нерестилищам. (Похилук, Фролов, 2001; Фролов и др. 2001). Велика вероятность того, что эта тенденция сохранится и в будущем. Рыба более длительное время будет придерживаться мест нагула. Эти особенности современного распределения сельди сильно сужают возможности развития прибрежного зимнего промысла пассивными орудиями лова, сроки которого сузились до трёх месяцев (февраль – апрель), и очевидно расширяют возможности для ведения успешного тралового промысла, который может осуществляться вплоть до ноября-декабря. В сложившихся условиях без развития судового промысла полное использование запасов беломорской сельди будет невозможно.

Органам государственной власти при этом следует обратить внимание на учет интересов всех пользователей, и обеспечить возможность лова не только на высокоэффективном судовом промысле, но и на промысле прибрежном, который в значительной мере несет социальную нагрузку (занятость местного населения традиционными видами деятельности, переработка местного сырья, дополнительные рабочие места). Трудности с ведением традиционного промысла, зачастую созданные искусственно, приводят к его постепенному исчезновению.

**Навага.** На промысле наваги наиболее сильно сказалось существенное потепление климата в наших широтах. Позднее льдообразование откладывает начало подлёдного лова, если в 80-е годы прошлого века лов начинался в конце ноября, за месяц до нереста наваги, то теперь лов начинается после её нереста. Мало того, что сроки лова сократились – посленерестовая навага представляет гораздо меньшую товарную ценность по сравнению с преднерестовой.

Помимо сельди и наваги стоит обратить внимание на развитие промысла таких видов как камбаловые, корюшка, треска, зубатка, пинагор. В середине 20 –го столетия вылов этих видов был значителен, но затем по разным причинам сократился или полностью исчез. Имеющиеся данные говорят о том, что промысловый потенциал этих видов явно недоиспользуется.

**Азиатская корюшка** нерестится в апреле – мае в приустьевых участках рек и ручьев, впадающих в Белое море, где и образует промысловые концентрации. После этого рыба рассеивается по акватории моря, и вылавливается только в качестве прилова при промысле других видов. Весенний лов корюшки в водоёмах Архангельской области в настоящее время необоснованно подпадает под запрет, устанавливаемый действующими правилами рыболовства. В то же самое время только этот лов может обеспечить освоение запасов и может быть экономически оправдан. В реках Республики Карелия специализированный весенний промысел легитимен.

В прошлом веке наибольшие уловы корюшки фиксировались в реках Онежского залива на территории Республики Карелия. В среднем вылов здесь по данным управления Карелрыбвод с 1950 по 2000 годы составлял 80 т. максимальный (в 1960 г.) – 244 т. (по данным Карелрыбвода). По данным «Атласа научных основ рыбопромысловой карты Онежского залива Белого моря» с 1948 по 1953 гг. среднегодовой вылов корюшки в пределах Республики Карелия составил 177 т, из них в реке Нюхча – 75 т. (Атлас... ,1.). В пределах Архангельской области учтенный среднемноголетний вылов корюшки с 1957 по 2000 годы составлял 39 т, максимальный вылов (также в 1960 г.) – 113 т. (по данным управления Севрыбвод).

Основной проблемой специализированного промысла корюшки в Архангельской области, таким образом, является несовершенство нормативно-правовой базы, вообще исключающей возможность лова. В республике Карелия, несмотря на то, что существующие Правила рыболовства допускают ведение промысла, по непонятным в настоящее время причинам, пользователи не могут добиться выдачи разрешений на лов в эстуариях рек бассейна Белого моря. При этом прогноз ОДУ азиатской корюшки выполняется СевПИНРО ежегодно, с рекомендациями по объемам вылова в пределах Республики Карелия. Здесь отметим также одну особенность существующего законодательства. Корюшка во внутренних водоемах бассейна Белого моря является видом, на который должен определяться ОДУ. Таким образом, оказывается, что ОДУ на этот вид устанавливается только на короткий период размножения. Та же самая рыба, обитающая большую часть года в море, формально не является видом, в отношении которого ОДУ устанавливается. Это ведет к очередной путанице и неясностям для исполнительных органов власти в области рыболовства при принятии решений. Как результат – страдают пользователи, лишенные законной возможности вести лов.

Проблема отсутствия учета вылова существует в отношении корюшки так же, как и для прочих видов водных биоресурсов.

В 2009 г. СевПИНРО были внесены предложения по изменению действующих Правил Рыболовства, имеющие целью легализацию добычи азиатской корюшки в приустьевых участках рек бассейна Белого моря в пределах Архангельской области во время запрета на лов прочих весенненерестующих рыб. Принятие таких поправок позволит инициировать изменение ситуации.

Промысел **камбаловых** сосредоточен преимущественно в Онежском заливе и на полуострове Канин. Облавливаются ставными ловушками разных типов и крючковыми снастями. Камбаловые являются постоянным приловом при промысле наваги и сельди, используются преимущественно для местного потребления. Специализированный лов, который в настоящее время практически не производится, ранее осуществлялся на весенних (посленерестовых) и осенних (предзимовальных) концентрациях.

**Объемы возможного вылова и данные официальной статистики по вылову  
азиатской корюшки в Белом море в 2006–2008 гг.**

годы	Выделяемые объемы возможного вылова, т.	Вылов по данным официальной статистики, т.
2006	110	29,5
2007	110	2,432
2008	100	0,532

**Пинагор** отмечается в уловах в прибрежье практически на всей акватории Белого моря за исключением распреснённых зон Двинского и Онежского заливов. Традиционно это: Мезенский залив; Летний берег; Карельский берег, главным образом районы Гридино и Кеми; Терский берег от Поноя до Порьей губы; Соловецкие острова.

Промысел его был основан на облове нерестовых скоплений и продолжается с мая по июль, с пиком, приходящимся на начало июня. Наиболее эффективными орудиями лова являются ставные сёмужьи невода и ставные сети с ячейей 40–60 мм. С 1941 по 1960 год среднемноголетний вылов пинагора по Белому морю составлял 110,6 тонны, максимальный в 1950 году – 240 тонн.

В настоящее время специализированного промысла пинагора не ведётся. Возможно возрождение этого вида лова в Мезенском заливе в районе р. Койда. В Республике Карелия наиболее перспективным для возобновления промысла пинагора следует считать район Гридино, где по историческим данным уловы были наиболее высоки. Местными жителями отмечаются ежегодные подходы пинагора. К тому же, расположенный в Гридино рыболовецкий колхоз имеет необходимые производственные мощности. Сходные условия складываются на Летнем берегу Двинского залива, в районе Лопшеньги и Яреньги.

Слабо используются промыслом беломорская треска и зубатка. Основные места их обитания практически совпадают – это западная часть Бассейна, Соловецкий архипелаг, Кандалакшский залив, Летний берег в Двинском заливе. Успешнее всего эти виды вылавливаются одностенными «тресковыми» сетями, крючковыми снастями.

Организация на должном уровне промысла и переработки сырья позволит получать высокоценную пищевую продукцию и полнее использовать сырьевую базу моря. Кроме соответствующих бассейну орудий лова, для развития прибрежного рыболовства необходимы соответствующим образом оборудованные малые и маломерные суда.

В качестве образца проблем, возникающих в связи с несовершенством существующего законодательства, следует отметить проблему непреднамеренного вылова морских млекопитающих при прибрежном промысле морских рыб. Кольчатая нерпа и морской заяц гибнут, заходя в сельдяные и наважьи рюжи. Такой зверь никак не используется и нигде не фиксируется. Вместе с тем, необходимо наладить хотя бы элементарный учёт. При этом должно быть понимание того, что прилов морского зверя при добыче рыбы – событие случайное, не зависящее от воли рыбаков. Рассматривать же такой прилов как браконьерство не просто неправильно, а абсурдно.

Тем не менее, органы государственной власти не спешат использовать здравый смысл для решения названной проблемы, и прилов морского зверя становится еще одним административным барьером на пути создания системы рационального использования водных биоресурсов Белого моря. Без адекватного решения данного вопроса промысловика при отсутствии контроля будут продолжать просто избавляться от зверя, выбрасывая его из орудий лова – то есть, ресурс не используется, и не учитывается.

### Заключение

Таким образом, основные проблемы рыболовства на Белом море связаны с различного рода административными барьерами и несовершенством рыбохозяйственного законодательства. Отсутствие государственного интереса в отношении развития рыбохозяйственного комплекса на Беломорском бассейне, непоследовательная государственная рыбохозяйственная политика, в особенности в сфере реформирования отраслевых органов государственной власти, на настоящий момент только усугубляет сложившуюся ситуацию. С этим напрямую связаны проблемы постепенного исчезновения традиционного прибрежного промысла.

Другой блок проблем включает влияющие на промысел изменения окружающей среды (в частности, общее повышение теплозапаса моря и позднее льдообразование), что приводит к изменениям в поведении гидробионтов и, как следствие, к необходимости менять традиционные подходы к промыслу.

Промысловый потенциал Белого моря значительно выше существующего уровня, и более полное освоение рыбных запасов моря возможно при расширении географии и сроков судового тралового лова беломорской сельди, возобновлении весеннего специализированного промысла корюшки, организации ресурсных исследований и последующего возобновления промысла камбаловых, пинагора, и прочих промысловых рыб. При этом должны произойти существенные изменения государственного подхода к проблемам рыбного хозяйства, и осуществляться совершенствование соответствующие нормативно-правовой базы.

### **Литература**

Атлас научных основ рыбопромысловой карты Онежского залива Белого моря. Под ред. Паленичко З.Г., Надёжин В.М. часть I 1959 Изд-во АН СССР. Ленинград. С.56.

Гончаров Ю.В. 2005 Результаты исследования пинагора Белого моря в 2003 году.// В.кн. Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоёмов европейского Севера. Сборник материалов VI (XXVII) международной конференции. Ч.1.С.106–108.

Похилук В.В., Фролов С.Б. 2001 Особенности промысла сельди в Сорокской губе Онежского залива в 1998–2000 гг.// В кн. Тез. докл. VIII региональной научно-практической конференции «Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря.» 16–18 апреля 2001 г. Беломорск, Республика Карелия. С.160.

Шерстков А.С. 2001. Распределение непромысловых и малоиспользуемых видов рыб в различных районах Белого моря.// В кн. Тез. докл. VIII региональной научно-практической конференции «Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря.» 16–18 апреля 2001 г. Беломорск, Республика Карелия. С.196.

Фролов С.Б., Шерстков А.С., Зубов В.И. 2001. Осеннее распределение беломорской сельди в 2000 г.// В кн. Тез. докл. VIII региональной научно-практической конференции «Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря.» 16–18 апреля 2001 г. Беломорск, Республика Карелия. С.188.

Фукус Г.В., Гончаров Ю.В., Перспективы использования второстепенных видов рыб в прибрежном рыболовстве Белого моря.// В кн. Материалы IV совещания международного контактного форума по сохранению местообитаний в Баренцевом регионе. Сыктывкар. С.42–43.

## **PROBLEMS OF FISHERY IN THE WHITE SEA AND THE WAYS TO SOLVE**

**A.S. Sherstkov, S.B. Frolov, V.S. Sherstkov**

Northern branch of the Polar Research Institute of fishing industry and oceanography, Archangelsk, Russia  
e-mail: frolov@sevpinro.ru

The main problems of fishery in the White sea are related with different kinds of administrative barriers and fishery legislation defects. Total absence of state interests concerning development of fishing industry complex in the basin of the White sea, and inconsequent state fishery policy (especially in the reforming of state authorities in mentioned field) at the moment just aggravate the situation. One of the resulted problems is gradual extinction of traditional coastal fishery. Another cluster of problems, which affects fishery, are the changes in the environment – in particular, the general increasing of the sea heatstock and the late ice formation. It leads to changes in hydrobionts behavior, and, as a consequence, to the necessity to change traditional approaches to fishery. Fishery potential of the White sea is substantially higher than existed level, and more integrate utilization of fish stocks of the sea is possible provided widening of geography and period of white sea herring trawl fishing, renewal of special fishing of smelt in spring, organizing of fish resources research and following renewal of commercial fishery for flatfishes, lumpfish, and other fish stocks. At the same time an essential changes of state approach to fishing industry problems is required, and improvement of legislative base of the concerned field must be carried out.



## ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ И ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ПОДРАЗДЕЛЕННОСТЬ КЕТЫ И ТИХООКЕАНСКОЙ ТРЕСКИ

М.В. Шитова<sup>1</sup>, М.Е. Бурякова<sup>2</sup>, Г.А. Рубцова<sup>1</sup>, К.И. Афанасьев<sup>1</sup>, Т.В. Малинина<sup>1</sup>, А.М. Орлов<sup>2</sup>, Л.А. Животовский<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Учреждение Российской академии наук Институт общей генетики  
им. Н.И.Вавилова РАН, г. Москва, Россия

<sup>2</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, г. Москва, e-mail:  
shitova-m@rambler.ru

### Введение

В последние годы началось активное изучение популяционной структуры различных видов животных, в том числе и рыб, с привлечением молекулярно-генетических маркеров. В связи с этим накопился достаточно большой материал по современной генетической структуре популяций многих видов рыб. В процессе исследовательской работы неизбежен вопрос о причинах, которые могли сформировать современную картину популяционно-генетической структуры того или иного вида.

На примере тихоокеанской трески *Gadus macrocephalus* (Tilesius) и кеты *Oncorhynchus keta* (Walbaum) мы рассмотрим некоторые из возможных причин, которые могли повлиять на формирование современной картины популяционно-генетической структуры выше названных видов по микросателлитным маркерам.

### Краткая характеристика биологии видов

Кета – один из видов тихоокеанских лососей, ее жизненный цикл состоит из двух периодов – пресноводного (особи кеты идут на нерест в пресную воду и примерно около пары месяцев после выклева личинки нагуливаются в реках и озерах) и морского (молодь скатывается в море и продолжает нагуливаться сначала в эстуарных участках, затем удаляясь все дальше от берега и совершая миграции в открытые воды северной части Тихого океана и Берингово море). Во время анадромных миграций кета возвращается на нерест в те же реки, в которых была произведена на свет. Нерестится один раз в жизни, самки откладывают икру в речной грунт.

Тихоокеанская треска в отличие от кеты – типично морская рыба. Образует относительно изолированные самовоспроизводящиеся популяции, совершает сезонные нерестовые и нагульные миграции. Нерест трески в целом на всём ареале происходит в зимне-весенний период. В северных районах сроки нереста смещаются к весне (март-апрель), в южных к зиме (январь-февраль). В первом случае для размножения треска отходит от берегов на материковый склон, где теплее, во втором наоборот, приближается к берегам, на участки с более низкими температурами. Икра донная с клейкой оболочкой, личинки также обитают в придонных слоях.

### Материалы и методы

В работу вошли 89 выборок кеты (объем каждой выборки около 40–50 шт.) по 10 микросателлитным локусам. Исследование охватывает только ареал кеты Российского Дальнего Востока (Курильские о-ва, р.Амур, о.Сахалин, магаданское побережье северной части Охотского моря, Камчатка, р.Анадырь). Выборки были собраны за период с 2003 г. по 2007 г. (Афанасьев и др., 2008а; 2008 б)

Также в работу вошло семь выборок трески (объем каждой выборки около 40–50 шт.) по 4 микросателлитным локусам. Шесть выборок трески были пойманы у российского побережья (западная часть Берингова моря (Наваринский и Корякский районы), Охотское море – Западная Камчатка, тихоокеанская сторона Южных и Северных Курильских о-вов, Западный Сахалин), и одна выборка из канадских вод (провинция Британская Колумбия). Сбор материала проводился в период с 2005 г. по 2008 г. (Бурякова и др., 2009).

### Результаты и обсуждение

В процессе анализа генетической дифференциации кеты и тихоокеанской трески было выявлено относительное сходство пространственной картины дифференциации исследуемых видов.

Как и у трески, так и у кеты наиболее дифференцированной оказалась южная часть ареала, по сравнению с северной частью. Граница, разделяющая эти части, примерно совпадает у обоих видов и проходит в районе 50°с.ш.

У кеты южная часть ареала включает в себя выборки с Южных Курильских островов (Итурупа и Кунашира), Сахалина и Амура. В то время как довольно большой кластер, включающий выборки северной части ареала (Магадан, Камчатка, р. Анадырь) имеет более слабую генетическую подразделенность по сравнению с южной частью ареала (Zhivotovsky, 2009; Афанасьев, 2008).

На первом уровне генетической иерархии кета дифференцируется на два больших кластера, это кета Южных Курильских островов и кета остальных популяций в указанной части ареала. Степень дифференциации – 6,4% (величина значима т.к. нижняя граница бутстрэп-интервала больше нуля, бутстрэп-интервал от 3,7% до 10,4%) . Каждая из этих ветвей подразделена еще на ряд группировок. Южно-Курильская кета делится на популяции о. Итуруп и о. Кунашир (степень дифференциации 1,2% [0,7–1,6]). Кета о. Итуруп в свою очередь подразделена еще на ряд субпопуляций (степень дифференциации между реками о. Итурупа 0,74% [0,24–1,4]).

В другом кластере, включающем все остальные популяции кеты (кроме Южно-Курильских островов), выделяются группы популяций о. Сахалин (юго-западный, северный и восточный, южный и юго-восточный Сахалин – степень дифференциации внутри острова 2,9% [1,7–4,4]), р. Амур и группа популяций северной части ареала – Камчатка, Магадан, р. Анадырь. Последняя в свою очередь подразделяется на ряд субпопуляций, но степень их дифференциации относительно мала – 1,2% [0,8–1,8] – по сравнению с вышеперечисленными районами южной части ареала, хотя по географической протяженности этот район сравним с территорией южной части ареала.

Похожая картина наблюдается и у тихоокеанской трески (Бурякова и др., 2009). На дендрограмме выделяются две крупные группы: первая включает в себя выборки из акваторий Охотского и Берингова морей и тихоокеанских вод Канады (т.е. северная часть ареала), вторая – Сахалино-Курильского региона (южная часть ареала). Дифференциация между этими группами 7% (нижняя граница бутстрэп-интервала положительная 0.0093). Дифференциация между попарно сравниваемыми выборками южной части ареала значима во всех трех сравнениях (между сахалинской выборкой и южно-курильской – 7% (нижняя граница бутстрэп-интервала 0.011 между сахалинской выборкой и северо-курильской – 3% (нижняя граница бутстрэп-интервала 0.004), между южно-курильской и северо-курильской – 1,4% (нижняя граница бутстрэп-интервала 0.002). Внутри группы популяций из северной части ареала дифференциация не значима  $\theta_p=0.6\%$ , т.к. нижняя граница бутстрэп-интервала отрицательная –0,006). Из приведенных результатов видно, что северная часть ареала тихоокеанской трески не имеет значимой дифференциации, а южная часть ареала подразделена как минимум на три группы популяций. Возможно при расширении ареала исследовательской работы и увеличении числа микросателлитных маркеров картина популяционно-генетической структуры трески станет более подробной и появиться возможность более детально оценить дифференциацию популяций этого вида.

На основании вышеизложенного возникает обоснованный вопрос: В чем причина такого сходства дифференциации популяций столь различающихся видов?

На наш взгляд для объяснения этого факта надо обратиться к палеогеографическим событиям в Дальневосточном регионе и в частности к периоду плейстоценовых оледенений.

Ряд авторов постулируют несколько рефугиумов в которых кета переживала периодические оледенения. Полякова с соавторами (2006), основываясь на данных по мтДНК, говорит о двух рифугиумах для азиатской кеты. Один из них соответствует бассейну Японского моря и связанной с ним в прошлом речной системе палео-Суифуна (Линдберг, 1972). Современные популяции этого региона считаются более древними по сравнению с остальными популяциями азиатского региона (Полякова и др., 2006; Салменкова и др., 1992; Варнавская, 2006). Другой – южная часть Охотского моря и речная система в прошлом – палео-Амур (Линдберг, 1972). Популяции этого района также считаются более древними, по сравнению с североохотоморскими (Магадан). Последние, в свою очередь, вместе с Камчатскими стадами относятся к относительно молодым популяциям (Полякова и др., 2006; Салменкова и др., 1992), которые, по-видимому, заселили северную часть ареала в относительно недавнее время, после отступления ледников.

То есть, кета южной части ареала представляет собой более древние популяции, чем кета северной части ареала. По-видимому, этот факт и объясняет более выраженную генетическую дифференциацию южной кеты по микросателлитным маркерам, так как эти популяции существуют более длительное время, чем северные популяции.

Относительно проникновения трески в Тихий океан существует две точки зрения. По одной из них треска проникла в Тихий океан в плиоцене, по другой – перед или во время ледникового по-

холодания (Световидов, 1940). Световидов (1940) склоняется ко второй версии времени заселения Тихого океана треской, т.е. в межледниковый период, когда она проникла сюда вокруг Северной Америки (Световидов, 1940), то есть ее распространение шло с севера на юг.

В данном контексте более древними должны считаться северные популяции трески, но с учетом палеогеологических событий, можно предположить, что в периоды последующих похолоданий треска покидала северные территории ареала и заселяла более южные районы ареала. И, возможно, вторичное заселение северной части ареала, после наступления нового потепления, уже происходило из южных рефугиумов. По-видимому, это и объясняет более выраженную дифференциацию южной части ареала трески, чем северной части.

Однако все вышеизложенные предположения не исключают и влияния других факторов (например, особенности биологии трески или недостаточная изученность ее популяционно-генетической структуры) на формирования сходства картин популяционной структуры кеты и тихоокеанской трески. Для более четких заключений требуется дальнейшее исследование популяций трески, более детальное изучение структуры популяций этого вида на азиатском ареале и расширение набора микросателлитных локусов для более устойчивой оценки.

Работа поддержана грантами РФФИ №08-04-0045а, Программ президиума РАН «Генофонды и био-разнообразие».

### Литература

Афанасьев К.И., Рубцова Г.А., Шитова М.В., Малинина Т.В., Животовский Л.А., 2008а. Межрегиональная дифференциация Азиатской кеты // Тезисы докладов международной конференции «Генетика, селекция, гибридизация, племенное дело и воспроизводство рыб», С.-П., 10–12 сентября, с. 11.

Афанасьев К.И., Рубцова Г.А., Шитова М.В., Малинина Т.В., Животовский Л.А., 2008б. Межрегиональная дифференциация кеты Сахалина и Южных Курил по микросателлитным локусам // Генетика, том 44, №7, с.956–963

Бурякова М.Е., Шитова М.В., Орлов А.М. 2009. Микросателлитная изменчивость тихоокеанской трески *Gadus macrocephalus* Tilesius (Gadidae) // Материалы конференции молодых ученых Биосфера земли: назад в будущее. Екатеринбург, апрель (в печати).

Варнаевская Н. В., 2006. Генетическая дифференциация популяций тихоокеанских лососей. Изд-во КамчатНИРО., Петропавловск-Камчатский, 488 с.

Линдберг Г.У., 1972. Крупные колебания уровня океана в четвертичный период. Л.; Наука. 548с.

Полякова Н.Е., Семина А.В., Брыков В.А. 2006. Изменчивость митохондриальной ДНК кеты *Onorhynchus keta* (Walbaum) и ее связь с палеогеологическими событиями в северо-западной части пифики // Генетика, том 42, №10, с.1388–1396.

Салменкова Е. А., Омельченко В. Т., Алтухов Ю.П. 1992. Геногеографическое исследование популяций кеты, *Oncorhynchus keta* (Walbaum), в Азиатской части видового ареала // Генетика, т. 28, №1. С. 76–92.

Световидов А.Н. 1940. О географическом распространении тресковых и других семейств *Gadiformes* // Бюллетень М. О-ва Исп. Природ. Отд. Биологии. Т. XLIX(1). С.50–59.

Zhivotovsky L.A., Afanasiev K.I., Rubtsova G.A., Shitova M.V., Malinina T.V., Rakitskaya T.A., Prokhorovskaya V.D., Chereshev I.A., Bachevskaya L.T., Brykov V.A., Kovalev M.Yu., Shevljakov E.A., Fedorova L.K., Borzov S.I., Pogodin V.P., Kaev A.M., Sidorova S.V., 2009. Differentiation of Asian populations of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) at microsatellite loci // Presentation abstracts, February, p. 22, <http://www.stateofthesalmon.org/conference2009>.

## РАЗМЕРНЫЙ СОСТАВ И ЛИПИДНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ У АМФИПОД БЕЛОГО МОРЯ В РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ ОБИТАНИЯ

Г.А. Шкляревич<sup>1</sup>, В.В. Богдан<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Петрозаводский Государственный университет, г. Петрозаводск, Россия

<sup>2</sup>Учреждение Российской академии наук Институт биологии

Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск

e-mail: gash@psu.karelia.ru

Для Белого моря, как и для всех северных морей, особенно актуальна проблема устойчивого развития прибрежных экосистем, которые являются наиболее продуктивными, но и особо уязвимыми. Для исследования изменений в функционировании экосистем литорали эколого-биологические

исследования являются неотъемлемой частью мониторинговых работ. При этом амфиподы, обладая такими биологическими особенностями как: короткий жизненный цикл, довольно высокая плодовитость, быстрая смена генераций, незначительные перемещения в пространстве, представляют удобный и информативный объект для биотестирования Белого моря.

Исследования проведены на заповедной, беломорской части акватории Кандалакшского государственного природного заповедника (рис. 1.)



Карта-схема Кандалакшского залива с границами охраняемых территорий и акваторий Кандалакшского государственного природного заповедника и указанием мест сбора материала для данной работы.

Изучали размерные характеристики литоральных амфипод Кандалакшского берега Белого моря (преимущественно *Lagunogammarus oceanicus*) в разных условиях обитания. Параллельно определяли липидный состав особей. Для гидробионтов показана важная роль липидов в процессах роста, созревания и развития. Причем отмечалась прямая зависимость между размерами (возрастом) и количеством липидов у большинства видов рыб. Однако связь между увеличением массы тела и накоплением липидов не всегда однозначна (Шульман, 1978).

### Материал и методы

Каждый гаммарус после обсушивания на фильтровальной бумаге взвешивался на торсионных весах с точностью до 1 мг. Длина каждой особи определялась от переднего края головы (роstrума) до основания тельсона с помощью штангенциркуля с точностью до 0,1 мм. Экземпляры с длиной тела менее 20 мм измерялись под биноклем с помощью окуляр-микрометра.

Для определения липидного состава сборные пробы амфипод (20–30 экз.) фиксировали 96%-ным этанолом. Липиды экстрагировали из фиксированного материала смесью хлороформа с метанолом (2:1). Фракционирование липидов проводили методом тонкослойной хроматографии. Количественно липидные фракции определяли гидроксаматным методом (Сидоров и др., 1972). Разделение основных классов фосфолипидов осуществляли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (Arduini et al., 1996).

### Результаты

Анализ размерных характеристик амфипод из разных мониторинговых полигонов показал, что средние размеры амфипод несколько отличались. В содержании липидов также отмечены значительные колебания. Самые крупные экземпляры *L. oceanicus* обнаружены в 2001 и 2004 гг. на

литорали о. Лувеньга, о. Телячий и о. Ряжков. При этом в пробах из этих районов отмечалось большее содержание общих липидов (12,6, 10,2 и 9,9% от сухой массы, соответственно), чем у амфипод из других зон. Ранее для разных видов гидробионтов также показано, что количество липидов у крупных особей в основном выше, чем у мелких. Обусловлено это увеличением преимущественно уровня мембранных фосфолипидов (табл.). Среди индивидуальных фосфолипидов отмечалось увеличение содержания фосфатидилэтаноламина (ФЭА) и снижение лизофосфатидилхолина (ЛФХ). С увеличением размеров повышалось и содержание – триацилглицеринов. У рыб с возрастом также показано увеличение доли запасных липидов.

При сравнении распределения амфипод в разные сезоны года также отмечены различия в выраженности разных размерных групп в популяциях *L. oceanicus*. Так, на острове Ряжков в сентябре (2001 г.) преобладали размерные классы от 23 до 28 мм., а в июле (2004 г.) от 15 до 23 см. При этом содержание липидов в пробах осенних амфипод составляло 9,9%, а летних – 6,7%. Указанные сезонные различия в размерах и соответствующем количестве липидов обусловлены тем, что в течение одного периода размножения амфиподы могут давать до трех-четырех генераций. Период активного размножения начинается весной и заканчивается в августе, поэтому в сентябрьских пробах почти полностью отсутствуют ювенильные особи. Летом же популяция находится в стадии активного размножения и картина представляется несколько сглаженной из-за наличия нескольких генераций, например, самой крупной, но малочисленной весенней, и больших по численности, но меньших по размеру нескольких летних. Это обуславливает и изменчивость в уровне общих липидов и особенно фосфолипидов.

Проведенное сравнение морфометрических характеристик осенних амфипод из районов в черте г. Кандалякша, Лупчострова, Малого показало значительное уменьшение процента размерных классов больше 20 мм, чем, например, на литорали о. Ряжков (рис.2).

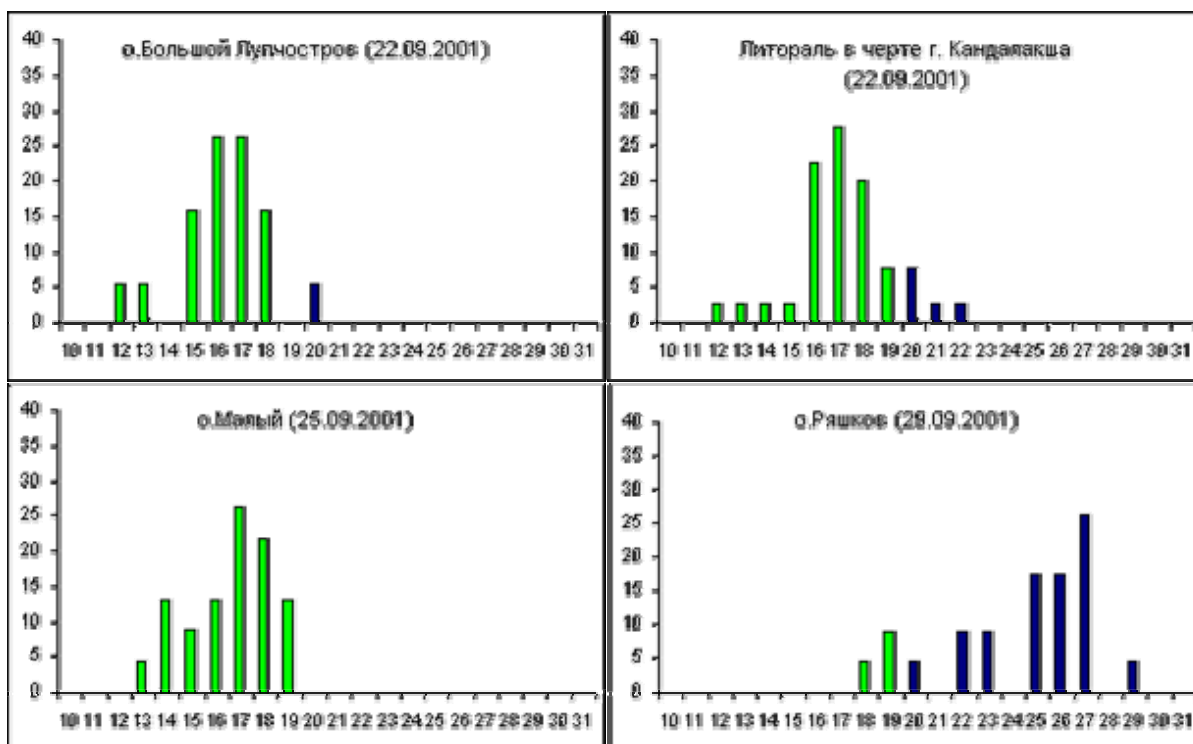


Рис. 2. Изменения размеров амфипод в различных по степени чистоты и загрязнения районах Кандалякшского залива Белого моря в осенний сезон

Наиболее мелкие амфиподы преобладали в кустовой загрязненной части залива – на о.Малый. Результаты липидного анализа особей из этих точек показали пониженный уровень липидов у амфипод по сравнению с особями из сравнительно чистой зоны – о. Ряжкова. При этом амфиподы литорали о. Малый содержали наименьшее количество липидов и, в частности, фосфолипидов –

структурных компонентов клеточных мембран (табл.). Из индивидуальных фосфолипидных фракций наибольшее снижение отмечено для фракции ФЭА. Преобладание в указанных выше районах мелких особей, содержащих значительно меньше структурных липидов, вероятно, является результатом значительного антропогенного загрязнения Кандалакшского залива. Однако, как видно, наибольшее снижение размерных характеристик и липидных показателей происходило у литоральных амфипод в районе о. Малый в условиях значительного нефтяного воздействия. Снижение темпов соматического роста могло происходить не только за счет дефицита структурных липидов, но и белковых компонентов мембран, что обнаружено нами как у особей на литорали о. Малый, так и о. Олений, характеризующейся сильным загрязнением нефтеуглеводородами (выше ПДК) по сравнению с чистой зоной (Богдан и др., 2005).

#### Липидный состав амфипод из разных районов Белого моря (в % к сухой массе)

Район / Показатели	Общие липиды	Фосфолипиды
о. Лупчостров	7,0	4,7
г. Кандалакша	8,7	6,0
о. Малый	5,7	2,8
о. Ряжков	9,9	7,1
о.Телячий	10,2	8,8
Лувеньга	12,6	11,4

Таким образом, несмотря на некоторую неравномерность распределения размерных групп амфипод по биотопам Белого моря, при сопоставлении размерных характеристик и липидного состава амфипод наблюдается прямая зависимость между частотой встречаемости разных размерных групп амфипод и содержанием общих и мембранных липидов. При этом сезонные различия в размерных и липидных показателях особей связаны, в основном, с неоднородностью популяции по возрасту. Между тем их изменчивость у амфипод в разных мониторинговых полигонах Белого моря во многом обуславливается изменением темпов соматического роста вследствие различных токсических нагрузок. Такая же закономерность была обнаружена в популяциях рыб при антропогенных воздействиях в условиях Кольского Севера, которая проявлялась в сжимании структурных рядов: размерных, возрастных, нерестовых (Моисеенко, 1999).

#### Литература

- Богдан В.В., Крупнова М.Ю., Шкляревич Г.А. 2005. Влияние нефти на липидный и белковый обмен у амфипод Белого моря // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера. Вологда. С. 59–61.
- Моисеенко Т.И. 1999. Стратегия адаптивных ответов организмов и популяций рыб на антропогенный стресс // Биологические основы изучения, освоения и охраны животного и растительного мира, почвенного покрова Восточной Финноскандии. Петрозаводск. С. 143.
- Сидоров В.С., Лизенко Е.И., Болгова О.М., Нефедова З.А. 1972. Липиды рыб. I. Методы анализа // В кн.: Лососевые (*Salmonidae*) Карелии. Петрозаводск. С. 152–163.
- Шульман Г.Е. 1978. Липиды и их использование при плавании рыб // Элементы физиологии и биохимии общего и активного обмена у рыб. Киев. С. 100–121.
- Arduini A., A. Peschchera, S. Dottori, A. Sciarroni, F. Serafini, M. Calvani. 1996. High performance liquid chromatography of long-chain acylcarnitine and phospholipids in fatty acid turnover studies // J. of Lipid Research. V.37. P. 684–689.

#### MORPHOMETRIC FEATURES AND LIPIDS COMPOSITION OF WHITE SEA AMPHIPODS DURING AN ECOLOGICAL FACTORS

G.A. Schkljarevitch<sup>1</sup>, V.V. Bogdan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia, e-mail: gash@psu.karelia.ru

<sup>2</sup> Institute of Biology, Karelians Scientific Centre of Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

The effect of ecological factors on size classes and lipids composition of White Sea amphipods was investigated. The results of the works showed change with size and age amphipods in different anthropogenic loading.

# **ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В ГОРЬКОВСКОМ И ЧЕБОКСАРСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩАХ НА ОСНОВЕ ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ**

**Г. В. Шурганова<sup>1</sup>, М. Ю. Кочеткова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Нижегородский госуниверситет им. Н.И.Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия

<sup>2</sup>Федеральное государственное учреждение «Центр лабораторного анализа и технических измерений по Приволжскому федеральному округу», г. Нижний Новгород,  
e-mail: shurganova@sandy.ru; Kochmarina@inbox.ru

На основании результатов собственных гидрохимических и гидробиологических исследований дается оценка качества вод и представление о видовой структуре основных зоопланктоценозов, а также характере сложившейся экологической ситуации в Горьковском и Чебоксарском водохранилищах в летнюю межень 2002 г.

## **Введение**

В связи с тем, что экосистемы Волжских водохранилищ, в том числе Горьковского и Чебоксарского, испытывают значительную антропогенную нагрузку, актуальной является оценка качества вод и состояния населяющих их гидробиоценозов. Для составления полного представления об экологической ситуации водохранилищ важно проводить эту оценку как с помощью физико-химических, так и биологических методов анализа. При этом результаты разных методов контроля качества вод не всегда совпадают. Если химический анализ исследует свойства воды, то биологический анализ характеризует водоем в целом, дает интегрированную оценку влияния всей совокупности загрязняющих веществ на состояние гидробиоценозов. При этом на структуру и функционирование водных сообществ влияют не только химические параметры, но и физико-географические особенности водоема, а также особенности его гидрологического режима. Известно, что зоопланктон играет существенную роль в трансформации энергии и биогенном круговороте веществ водоемов. Кроме того, сообщества зоопланктона являются хорошими индикаторами изменений условий их существования.

Целью настоящей работы была оценка экологической ситуации в водохранилищах Средней Волги – Горьковском и Чебоксарском на основе характеристик комплекса гидрохимических ингрдиентов и видовой структуры сообществ зоопланктона.

## **Материалы и методы исследования**

Материалом для работы послужили результаты гидрохимических анализов и пробы зоопланктона, отобранные на постоянных створах озерной части Горьковского и всей акватории Чебоксарского водохранилищ в летнюю межень 2002 г. (табл. 1).

Гидрохимические анализы проводили стандартными методами (Руководство..., 1977), сбор и обработку зоопланктона – общепринятым в практике гидробиологических исследований методом (Методические рекомендации..., 1984). Расчет средних значений показателей видовой структуры зоопланктона проводился в пределах выделенных планктонных сообществ (Черепенников, Шурганова, Артельный, 2003).

Индекс загрязнения и класс качества воды по гидрохимическим показателям рассчитывали в соответствии с Методическими рекомендациями..., 1988. Расчет ИЗВ (индекса загрязнения воды) производился по 6 компонентам: БПК, O<sub>2</sub>, Fe, Cu, Ni, PO<sub>4</sub>. Класс качества воды по гидробиологическим показателям (зоопланктону) определяли по «Правилам контроля качества воды в водоемах и водотоках» (ГОСТ 17.1.3.17-82). Степень загрязненности воды по зоопланктону оценивалась с учетом индекса сапробности по Пантле и Букку в модификации Сладечека (Sladecsek, 1973) с применением списков индикаторных организмов (Wegl, 1983). Кроме этого, рассчитывался индекс видового разнообразия Шеннона, который может также служить показателем качества вод (Яковлев, 1988; Свирская, 1992).

Таблица 1

**Некоторые гидрохимические показатели качества воды Горьковского и Чебоксарского водохранилищ в летнюю межень 2002 г.**

Участок водоема	Место отбора проб	O <sub>2</sub> Мг O <sub>2</sub> /л	БПК <sub>5</sub> , мгO <sub>2</sub> /л	ХПК, мгO <sub>2</sub> /л	Минерализация	Взвесь мг/л	P (PO <sub>4</sub> ) мг/л	N(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) мг/л	N(NO <sub>2</sub> ) мг/л	N(NO <sub>3</sub> ) мг/л
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ПДК		6	3	15	1000	30±3%	0,2	0,39	0,02	9,1
Горьковское водохранилище										
Озерный	Юрьево, пр. б.	9,87	5,01	45,92	110	38,6	0,026	0,132	0,022	0,16
	л. б.	7,98	3,51	24,43	110	11,6	0,026	0,140	0,021	0,11
	Чкаловск, пр. б.	8,18	2,79	38,78	105	9,8	0,026	0,132	0,01	0,14
	л. б.	7,82	2,00	19,39	90	12,8	0,021	0,217	0,007	0,17
	Горьковская ГЭС, пр. б.	8,86	2,68	25,51	100	10,4	0,028	0,147	0,006	0,18
	л. б.	8,75	3,17	28,57	115	9,8	0,021	0,155	0,011	0,07
Чебоксарское водохранилище										
Верхний речной	Городец, пр. б.	8,03	3,57	45,92	115	10,2	0,065	0,155	0,005	0,1
	л. б.	7,41	2,03	25,51	110	10	0,028	0,147	0,006	0,13
	Балахна, пр. б.	7,96	1,93	34,02	130	10,8	0,05	0,155	0,03	0,20
	л. б.	7,68	2,04	34,02	112	11,4	0,03	0,14	0,01	0,17
	Сорм.промузел, пр. б.	7,34	1,91	26,8	120	13,4	0,036	0,186	0,004	0,2
	л. б.	7,26	1,44	29,89	120	9,2	0,029	0,163	0,003	0,12
Средний речной	Станция аэрации, пр. б.	6,03	1,19	28,87	250	13,6	0,092	0,202	0,021	0,382
	л. б.	6,93	2,36	39,18	200	8,2	0,043	0,07	0,014	0,068
	Кстово, пр. б.	6,53	1,99	39,18	220	8,6	0,086	0,14	0,003	0,135
	л. б.	8,43	3,85	28,87	150	9,2	0,058	0,078	0,013	0,056
Переходный	Васильсурск, пр. б.	12,47	5,72	35,64	180	12,2	0,051	0,124	0,008	0,068
	л. б.	10,32	5,23	33,66	180	9,8	0,042	0,039	0,006	0,079
Озерный	Козьмодемьянск, пр. б.	7,34	2,7	47,52	190	12,4	0,039	0,128	0,005	0,068
	л. б.	10,92	4,56	57,42	190	9,6	0,082	0,12	0,006	0,068
	Ильинка, пр. б.	11,56	4,67	35,64	177	13,4	0,08	0,237	0,005	0,056
	л. б.	10,76	3,76	39,66	185	16,2	0,024	0,144	0,005	0,056
	Чебоксары, пр. б.	8,48	2,19	31,68	185	4,4	0,026	0,116	0,006	0,068
	л. б.	9,52	2,93	29,7	177	8,2	0,031	0,175	0,006	0,079
Керженецкий отрог		12,43	8,55	32,99	150	10	0,022	0,132	0,006	0,09
Ветлужский отрог		12,63	10,75	51,48	120	18,8	0,012	2,4	0,006	0,09
Сурской отрог		8,2	4,07	33,66	300	48	0,106	0,21	0,008	0,09
р. Ока, устье	пр. б.	7,22	3,97	25,81	235	2,4	0,057	0,065	0,026	0,206
	л. б.	6,03	3,95	24,19	251	3,6	0,06	0,804	0,033	0,235

### Результаты и обсуждение

Верхний речной участок Чебоксарского водохранилища по составу и содержанию солей близок к озерной части Горьковского водохранилища. Содержание суммы ионов, нитритов, нитратов, общего фосфора здесь в целом соответствует их концентрациям в озерной части Горьковского водохранилища. Так же как в Горьковском водохранилище здесь повышено содержание органических веществ (ОВ), оцениваемое по ХПК (табл. 1). Загрязненная вода р. Оки существенно увеличивает биогенную, преимущественно, азотную нагрузку на средний речной участок водохранилища. Ниже впадения р. Оки на правобережных станциях, содержание нитратного азота в 2,4–5,6 раз выше, чем на соответствующих левобережных. Максимальная минерализация вод отмечена у правого берега ниже станции аэрации г. Н. Новгород и г. Кстово. Общая минерализация воды озерной части Чебоксарского водохранилища существенно выше, чем Горьковского (табл. 1). При относительно равномерном распределении по акватории Чебоксарского водохранилища органического вещества наблюдается превышение его концентрации в волжском (левобережном) потоке среднего речного участка водохранилища по сравнению с правобережным окским. Судя по ХПК и БПК, содержание органического вещества в озерных частях Горьковского и Чебоксарского водохранилищ сопоставимы (табл. 1).

Исследование содержания металлов в Горьковском и Чебоксарском водохранилищах показало превышение ПДК на всем исследуемом участке по меди, марганцу, железу. Максимальные кон-



центрации меди отмечены ниже г. Чкаловск (правый берег) (19 ПДК), марганцу – г. Юрьевец (левый берег) (12 ПДК), железу – г. Балахна (правый берег) (3,6 ПДК). Максимальное превышение содержания железа было зафиксировано в Керженецком отроге – 5,8–5,9 ПДК, устье р. Оки (левый берег) – 5,2 ПДК. В устье р. Оки зафиксировано также превышение содержание кадмия – в 4,8–20 раз. В Сурском отроге содержание цинка превышало предельно допустимую концентрацию в 3,9 раз. В Ветлужском отроге было зафиксировано превышение ПДК по железу в 5,8 раз. Превышения ПДК для водоемов, имеющих рыбохозяйственное значение по содержанию нефтепродуктов, СПАВ анионов, фенолов, хлоридов и сульфатов, не были отмечены ни в Горьковском, ни в Чебоксарском водохранилище.

Таким образом, Чебоксарское водохранилище является на 36 % более минерализованным по сравнению с озерной частью Горьковского, оно содержит в 2 раза больше фосфора. На отдельных станциях отбора проб обоих водохранилищ зарегистрировано существенное превышение ПДК по содержанию тяжелых металлов.

Акваторию озерной части Горьковского водохранилища занимало планктонное сообщество, доминирующими видами которого являлись *Chydorus sphaericus*, *Daphnia galeata*, *Euchlanis dilatata*. Индексы сапробности, рассчитанные по численности и биомассе индикаторных видов по акватории озерной части Горьковского водохранилища не различались. При этом наблюдалось достоверное снижение индекса видового разнообразия Шеннона в правобережье водохранилища ниже городов Юрьевец и Чкаловск.

Левобережный речной зоопланктоценоз Чебоксарского водохранилища сохранял лимнофильные черты и представлял собой трансформированный и существенно обедненный количественно зоопланктоценоз озерной части Горьковского водохранилища. Значения индексов видового разнообразия Шеннона этого зоопланктоценоза были выше, чем соответствующие значения индекса, характерные для Горьковского водохранилища.

Правобережный речной зоопланктоценоз, находящийся под формирующим влиянием вод р. Оки, характеризовался преобладанием реофильных коловраток рода *Brachionus* с доминирующим по численности видом *B. calyciflorus*. Этот зоопланктоценоз характеризовался низкими значениями индекса видового разнообразия, но достаточно высокими значениями индекса сапробности, рассчитанного по численности индикаторных видов (табл. 2).

Таблица 2

**Индекс загрязнения воды (ИЗВ), индексы сапробности и видового разнообразия Шеннона, рассчитанные по численности ( $S_n$ ,  $H_n$ ) и биомассе ( $S_6$ ,  $H_6$ ) индикаторных видов зоопланктона и класс качества воды Горьковского и Чебоксарского водохранилищ в летнюю межень 2002 г.**

Участок водоема	ИЗВ	$S_n / S_6$	$H_n / H_6$	Класс качества воды по гидрохимическим показателям	Класс качества воды по гидробиологическим показателям
<b>Горьковское водохранилище</b>					
Озерный	1,59–4,00	1,77/1,91	1,82/1,32	III – IV, умер. загрязненная, загрязненная	III, умер. загрязненная
<b>Чебоксарское водохранилище</b>					
Левобережный речной	1,15–3,82	1,89/1,71	2,98/2,77	III–IV, умер. загрязненная, загрязненная	III, умер. загрязненная
Правобережный речной	1,20–2,61	2,45/2,00	2,20/2,18	III–IV, умер. загрязненная, загрязненная	III, умер. загрязненная
Переходный	1,16–1,53	2,03/1,86	3,18/2,27	III, умер. загрязненная	III, умер. загрязненная
Озерный	1,00–1,44	1,78/1,94	2,36/1,36	III, умер. загрязненная	III, умер. загрязненная
Ока, устье	2,42–2,61	2,34/2,25	2,00/1,87	III–IV, умер. загрязненная, загрязненная	III, умер. загрязненная
Керженецкий отрог	2,53	1,60/1,65	2,56/3,16	IV, загрязненная	III, умер. загрязненная
Сурской отрог	1,16	1,69/1,83	3,02/2,85	III, умер. загрязненная	III, умер. загрязненная
Ветлужский отрог	2,67	1,65/1,59	3,03/2,39	IV, загрязненная	III, умер. загрязненная

Зоопланктоценоз переходного участка водохранилища, занимающий акваторию между левыми и правобережными речными и озерным зоопланктоценозами (Лысково – Васильсурск) имел как

лимнофильные, так и реофильные черты. Преобладающими видами зоопланктона являлись *Chydorus sphaericus* и *Daphnia galeata*, лимнофильные (*Euchlanis dilatata*) и реофильные (*Brachionus calyciflorus*) коловратки. Значение индекса видового разнообразия этого ценоза, рассчитанного по численности зоопланктона было выше, чем правобережного речного (табл. 2), что можно объяснить смешением двух разнородных водных потоков и увеличением разнообразия за счет возрастания видового богатства. Значения индексов сапробности переходного зоопланктоценоза занимали промежуточное положение между соответствующими значениями лево- и правобережного речных и не выходили за границы  $\beta$ -мезосапробной зоны.

Зоопланктоценоз озерного участка Чебоксарского водохранилища, занимающий акваторию от впадения р. Ветлуги до плотины Чебоксарской ГЭС, являлся типично лимнофильным. Он отличался существенным преобладанием ракообразных, преимущественно, *Cladocera*, при доминировании *Daphnia galeata*. Озерный зоопланктоценоз характеризовался снижением индекса видового разнообразия по сравнению с переходным. Индексы сапробности характеризовали воду озерного участка водохранилища как  $\beta$ -мезосапробную.

Керженецкий, Сурской и Ветлужский отроги Чебоксарского водохранилища несмотря на существенные различия видовой структуры и доминирующих видов, характеризовались небольшими изменениями индексов сапробности (табл. 2), что свидетельствует о принадлежности их к  $\beta$ -мезосапробной зоне. Для всех отрогов водохранилища были характерны достаточно высокие значения индексов видового разнообразия, обусловленные как значительным видовым богатством, так и выровненностью.

Таким образом, наибольшее сходство видовой структуры обнаруживалось в озерных частях двух обследованных водохранилищ. Индексы сапробности, рассчитанные по численности и биомассе индикаторных видов зоопланктона позволяет отнести все обследованные акватории к  $\beta$ -мезосапробной зоне, вода оценена III классом качества, умеренно загрязненная. Минимальные значения индекса видового разнообразия Шеннона зарегистрированы в планктонных сообществах устьевое участка р. Оки, характеризующегося III–IV классом качества воды по гидрохимическим показателям (вода умеренно-загрязненная – загрязненная), а также в озерных частях исследуемых водохранилищ. Попытка сравнения качества вод Горьковского и Чебоксарского водохранилищ по гидрохимическим показателям и видовой структуре зоопланктона позволила установить, что в отдельных случаях результаты этих оценок совпадают, в других по гидрохимическим параметрам класс качества воды оказывается выше (вода более загрязненная), чем по биологическим. В целом экологическое состояние двух исследуемых водохранилищ Средней Волги может быть оценено как «относительно-удовлетворительное» – «удовлетворительное».

### Литература

- ГОСТ 17.1.3.07-82. 1982. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды в водоемах и водотоках. М.: Гос. ком. СССР по стандартам.
- Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. 1984. Зоопланктон и его продукция. Л. 33 с.
- Методические рекомендации по формализованной комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям. 1988. М.: Гидрометиздат. 7 с.
- Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. / Ред. А. Д. Семенова. 1977. Ленинград: Гидрометиздат. 542с.
- Свирская Н. Л. 1992. Мониторинг зоопланктона // Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеиздат. С. 105–130.
- Черепенников В. В., Шурганова Г. В., Артельный Е. В. 2003. Использование многомерного векторного анализа для оценки пространственного размещения зоопланктоценозов Чебоксарского водохранилища // Экологические проблемы бассейнов крупных рек – 3: Тез. докл. Междунар. Конф. Тольятти. С. 303.
- Яковлев В. А. 1988. Оценка качества поверхностных вод Кольского Севера по гидробиологическим показателям и данным биотестирования (практические рекомендации). Апатиты. 27 с.
- Sladeczek V. 1973. System of water quality from biological point of view. Ergebnisse Limnologie. // Arch. Hydrobiol., Bd 7. №7. 218 p.
- Wegl R. 1983. Index für die Limnosaprobität. // Wasser und Abwasser. T. 26. 179 p.

## ESTIMATION OF AN ECOLOGICAL SITUATION IN THE GORKY WATER BASIN USING THE HYDROBIOLOGICAL AND HYDROCHEMICAL PARAMETERS

G.V. Shurganova<sup>1</sup>, M.U. Kochetkova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Nizhny Novgorod State University of N.I. Lobachevsky, N.Novgorod, Russia  
e-mail: shurganova@sandy.ru

<sup>2</sup>The center of the laboratory analysis and technical measurements of the Privolzhsky Federal Region, N.Novgorod, e-mail: Kochmarina@inbox.ru

On the basis of the results of own hydrochemical and hydrobiological researches and also the character of the real ecological situation of Gorky and Cheboksarsky water basins in summer period of the 2002 year, the evaluation of the quality of water and review of the specific structure of the main kind of cancers is given.

## MORTALITY IN CALANUS GLACIALIS: SEASONAL VARIABILITY IN THE WHITE SEA BETWEEN 1963 AND 1998

Ketil Eiane

Bodø University College, 8049, Bodø, Norway

We have quantified seasonal variability in the mortality of *C. glacialis* in the White Sea from a data time consisting of 813 samples obtained between 1963 and 1998. Based on a vertical life table method (VLT) we developed a modified model that reduce estimate biases by relaxing assumptions of near constant recruitment and development schedules in the population under study. The approach allows for near unbiased estimates of mortality in pairs of consecutive developmental stages. We use point estimates for the combination of developmental stages CV and adult females to study seasonal variability in mortality to test for seasonal differences and trends in *C. glacialis* mortality rate.

## CALANUS GLACIALIS, A KEY ORGANISM IN ARCTIC SHELF SEAS

Stig Falk-Petersen<sup>1</sup>, Jørge Berge<sup>2</sup>, Ketil Eiane<sup>3</sup>, Eva Leu<sup>1</sup> and Janne Søreide<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Norwegian Polar Institute, 9296 Tromsø, Norway

<sup>2</sup>The University Centre in Svalbard, P.O. Box 156, N-9171 Longyearbyen, Norway

<sup>3</sup>Bodø University College, 8049, Bodø, Norway

The Arctic shelf seas and the marginal Ice Zone are regions of major importance for biogenic production in high latitudes. Blooms of algae occur through the Arctic oceans during spring, summer and autumn, associated with sea ice during the ice algal bloom as early as March -April, and in open waters as a phytoplankton blooms as soon as the leads forms in the icepack and along the receding ice edge between June and September. The Arctic *Calanus glacialis* plays a key role in the pelagic lipid-based energy flux in Arctic shelf seas. It converts low energy carbohydrates and proteins into high energy lipids, which makes it extremely lipid-rich (>70% lipids), and a high-energy food item for higher trophic levels. *C. glacialis* optimally time its reproduction, growth and seasonal migration to the two algae blooms, the ice algae peak production in March -April and the phytoplankton peak during mid-summer.

# GEOGRAPHIC DYNAMIC OF LIPID CONTENT LARVAE DAUBED SHANNY *LEPTOCLINUS MACULATUS* (FAMILY: STICHAETIDAE) FROM ISFJORDEN AND KONGSFJORDEN, SVALBARD

Svetlana A. Murzina<sup>1</sup>, Stig Falk-Petersen<sup>2</sup>, Jørgen Berge<sup>3</sup>, Nina N. Nemova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Biology, Karelian Research Centre RAS, Petrozavodsk, Russia  
e-mail: imagination@onego.ru

<sup>2</sup> Norwegian Polar Institute, Tromsø N-9296, Norway

<sup>3</sup> The University centre in Svalbard, Longyearbyen N-9171, Norway

Lipids for Arctic organisms very important as variant of adaptive behavior, pelagic larvae and fish feeding on *Calanus* ssp. diet in Arctic ecosystems and store a lot amounts of lipids from it during short summer productivity season. In general triacylglycerols are the usual depot of fat in pelagic fishes including all the commercially important species, whereas alkyl lipids including wax ester and alkyldiacylglycerols are widespread in meso- and especially bathypelagic fishes (Sargent et al., 1983; Falk-Petersen et al., 1986).

Daubed shanny *Leptoclinus maculatus* is among the dominating species of the epibenthic fauna of Arctic waters and thus play a significant role both as predators and prey in the Arctic ecosystem. The larvae are pelagic while the adults are bottom inhabitants. Pelagic larva is very common in pelagic biomass during whole summer season and they stay pelagic till 3 years old. Significant detail of *L. maculatus* larva is that it have ability to store lipids obtained from *Calanus* ssp. diet in particular part of the body called *lipid sac* situated on the ventral part of the body. Lipid sac as important body part have been investigated in several species of Antarctic fishes (DeVries, Eastman, 1977; Clarke et al., 1984; Friedrich, Hagen, 1994) and shown hot importance of it for adaptation, buoyancy and development in severe Antarctic conditions but no relevant works have been conducted about Arctic fishes. Storage, using and utilization of lipids in the larvae organisms appear high top interest as help to understanding of lipid dynamics in food web chain and food chain relationships, life cycle of larvae *L. maculatus* (turning from pelagic larva to bottom adult) because this sides of study have not been described yet.

The objective of this study is investigation of lipid classes and fatty acid spectrum qualitatively and quantitatively of larvae *L. maculatus* from Svalbard waters along the Northern-West coast of Spitsbergen from summer season.

## Material and methods

The samples of larva *L. maculatus* was collected in Isfjorden (78°20'N 15°00'E), Kongsfjorden (79°00'N 11°40'E) and outside of Kongsfjorden – V10 (78°95'N 08°81'E) station during summer 2007 (22-29 July) at stations with depth 50 m with pelagic trawling on board RV “Jan Mayen”. Weighed samples (0.5-1.0 g) of lipid sac and flesh from same in length and weight parameters from fresh larvae were derived from fresh material as soon as possible after capture of the fish and homogenized (where conditions permitted) in 10 volumes (10 ml) of 96% ethyl alcohol mixed with 0.001% of the antioxidant ionol. Sample homogenates were placed in plastic vials and stored onboard in a cooling room at 4 °C until delivery to the laboratory. The material was then fixed in a solvent system of chloroform: methanol (2:1, v/v), and total lipids (TL) were extracted following the method of Folch et al. (1957).

### Lipid class and fatty acid analysis

The material was then fixed in a solvent system of chloroform: methanol (2:1, v/v), and total lipids (TL) were extracted following the method of Folch et al. (1957). Individual lipid classes were identified as phospholipids (PL), triacylglycerols (TAG), cholesterol (CH), and wax esters (WE) by thin-layer chromatography. Their quantities were determined using the hydroxamate method (Sidorov et al., 1972b) and then spectrophotometry. Quantitative determination of CH was determined based on Engelbrecht et al. (1974) and spectrophotometry.

The fatty acid and alcohol compositions of the total lipid extracts and the lipid classes were analysed by gas-liquid chromatography.

For all lipid data One-way ANOVA was performed. Due to the robustness of the ANOVs we assume that all data are normal distributed with even homogeneity of variance.

## Results

Larva *L. maculatus* is a very lipid-rich fish the main functions of it accumulation of storage and metabolic lipids and in addition to it obvious role in buoyancy. The composition of the total lipids from the oil sac and the flesh is presented in Table 1. The maximum lipid content was determined in larva lipid sac from Kongsfjorden – 64,43% dry weight and minimum content in lipids sac from Isfjorden. The maximum lipid concentration noticed in larva muscle from Kongsfjorden and minimum outside of Kongsfjorden, deep station V10 – 27,95% and 24,48% dry weight. Triacylglycerols were dominant lipid compound in lipid sac and muscle: from 40,55 till 58,31% dry weight (from 93,36 till 89,72% sum lipids) and from 12,66 till 14,54% dry weight (from 54,62 till 45,33% sum lipids), respectively. The wax esters have not been occurred in lipid sac while in muscle composed a little content compare to triacylglycerols (Table 1). The same results were shown in Falk-Petersen with colleagues investigation (Falk-Petersen et al., 1986). Among polar lipids cholesterol (Chl) was dominant lipid component in muscle and totally absent as wax esters in lipid sac. The molar ration of Chl to phospholipids (PL) in muscle varied from 0,47 to 0,90 along the series: V10 station to Kongsfjorden via Isfjorden (Table 1). A high ratio in larvae muscle from V10 station out of Kongsfjorden was due to the fact that cholesterol regulates the fluidity of membrane and activation of membrane-connected enzymes. The main PL found in muscle and lipid sac were phosphotidylcholine (PC) and phosphotidylethanolamylene (PE), always they are dominant individual phospholipids in all studied organs and tissues of the fish (Velansky & Kostetsky, 2007). The ratio PC to PE reflects compensatory mechanisms that allow maintenance of physical-chemical membrane properties with changing temperatures (Kattner et al., 2007). Other PL found in muscle and lipid sac were in minor concentration (Table 1).

Table 1

### Lipid class composition in muscle and lipid sac *Leptoclinus maculatus* larvae from Isfjorden, Kongsfjorden, V10 station from summer season (July, 2007)

Season	Summer					
Place	Isfjorden	Kongsfjorden	V10 St	Isfjorden	Kongsfjorden	V10 St
	Muscle			Lipid sac		
DWt	73,76±5,54	72,05±3,50	75,52±5,32	56,57±5,54	35,57±3,50	49,50±5,32
TL, % dwt	26,24±5,54	27,95±3,00	24,48±2,84	43,43±2,45	64,43±2,14	50,50±9,01
	% dry weight					
	Neutral lipids					
TAG	13,97±2,86	12,66±1,83	14,54±4,44	40,55±2,32	58,31±3,07	46,41±7,71
WE	1,89±0,32	1,74±0,36	1,89±1,51	0	0	0
	Polar lipids					
CH	7,31±1,96	3,96±1,15	1,43±0,55	0	0	0
PL	3,06±0,78	9,58±1,35	6,62±1,16	2,88±0,17	6,08±1,67	4,09±2,19
	% total phospholipids					
PI	0,50±0,03	2,34±1,02	2,17±0,19	0,18±0,00	1,09±0,14	1,10±0,37
PS	0,87±0,13	1,00±0,11	1,11±0,07	1,14±0,04	1,99±0,12	1,43±0,17
PEA	15,42±1,73	20,02±1,77	19,91±0,62	16,53±0,18	18,13±1,25	9,98±1,67
PC	81,87±1,92	74,47±2,64	75,83±0,52	81,24±0,25	75,22±2,14	79,80±2,80
LPC	0,22±0,03	0,27±0,07	0,42±0,02	0,44±0,05	0,77±0,17	5,55±1,78
SFM	0,33±0,01	0,38±0,03	0,32±0,03	0,05±0,01	0,49±0,08	2,15±0,96
CH/PL	0,50	0,47	0,90	0	0	0
	% sum lipids					
	Neutral lipids					
TAG	54,05±1,81	45,33±2,62	54,62±5,88	93,36±0,23	89,72±3,22	93,07±2,70
WE	9,27±3,05	6,57±1,06	4,46±2,62	0	0	0
	Polar lipids					
CH	26,32±3,26	11,55±2,19	5,29±1,07	0	0	0
PL	10,35±2,07	36,54±3,18	35,62±7,42	6,64±0,22	10,23±3,21	6,92±2,75

The fatty acid composition of the lipid classes in the lipid sac and the flesh is presented in Table 2. The lipid sac was dominated by monounsaturated fatty acids – 20:1 (n-9), 22:1 (n-9) and smaller 16:1 (n-7), 18:1 (n-9). The 20:1 (n-9), 22:1 (n-9) fatty acids were found in very large amounts in calanoid copepods (Lee et al., 2006; Kattner et al., 2007) and here derived from zooplankton diet which is the most important for larva in Svalbard waters. The 16:1 (n-7), 18:1 (n-9) fatty acids derived from diatom and dinoflagellate

phytoplanktonic diet which could compose food for larvae in different seasons especially early spring during phytoplanktonic bloom. The major saturated fatty acid were 14:0 and 16:0 (Table 2). The flesh was also dominated by 20:1 (n-9), 22:1 (n-9), high concentration of 16:0 saturated fatty acid was noticed in flesh too. Considerably high amounts of 20:5 (n-3), 18:4 (n-3), 22:6 (n-3) were found. Most of saturated fatty acids are the main components of membrane and membrane lipid components as PL.

Table 2

**Fatty acid (FA) composition (% FA) in muscle and lipid sac *Leptoclinus maculatus* larvae from Isfjorden, Kongsfjorden, V10 station from summer season (July, 2007) (% FA)**

Season	Summer					
FA/Place	Isfjorden	Kongsfjorden	V10	Isfjorden	Kongsfjorden	V10
	Muscle			Lipid sac		
14:00	3,65±0,19	6,46±1,03	5,57±0,50	5,41±0,00	5,50±0,18	7,00±1,10
16:00	13,39±0,99	12,48±0,46	12,09±0,76	5,56±0,11	7,92±0,16	9,81±1,95
18:00	2,05±0,14	2,06±0,07	1,98±0,01	0,99±0,09	1,25±0,04	1,45±0,16
20:00	0,97±0,14	0,26±0,06	0,31±0,18	3,98±0,00	4,05±0,90	0,38±0,00
24:00	0,58±0,01	0,30±0,05	1,57±1,40	0,47±0,05	0,49±0,06	0,43±0,06
Sum SAFA	20,65±1,16	21,56±1,04	21,52±0,84	16,41±2,02	19,22±1,01	19,08±3,27
14:1(n-5)	0,55±0,05	0,32±0,04	0,21±0,11	0,47±0,03	0,46±0,01	0,44±0,07
14:2(n-7)	0	0,04±0,02	0	0,16±0,02	0,12±0,03	0,17±0,03
15:1(n-5)	0	0,12±0,04	0	0,24±0,03	0,26±0,03	0,11±0,04
16:1(n-9)	0	0,004±0,00	0	0	0	0
16:1(n-7)	5,86±0,50	6,21±0,52	6,05±0,28	8,11±0,22	8,41±0,31	6,65±0,26
18:1(n-9)	6,80±0,48	6,18±0,24	6,01±0,34	5,03±0,28	4,54±0,12	5,43±1,01
18:1(n-7)	2,34±0,27	2,12±0,10	1,71±0,04	1,41±0,07	1,43±0,60	0,90±0,08
18:1(n-5)	0,88±0,07	0,70±0,06	0,46±0,23	0,56±0,08	0,49±0,08	0,70±0,05
20:1(n-9)	19,55±2,69	18,32±1,12	19,93±1,17	27,89±1,11	23,73±0,42	20,27±2,31
20:1(n-7)	1,21±0,34	0,58±0,07	0,63±0,23	1,01±0,07	0,58±0,04	0,53±0,09
22:1(n-11)	15,48±2,61	13,93±0,89	10,27±2,01	19,17±1,14	19,80±0,51	16,59±2,95
22:1(n-9)	3,64±0,23	1,65±0,09	1,85±0,33	1,78±0,05	1,68±0,24	1,35±0,03
24:1	1,11±0,10	0,61±0,07	0,36±0,15	2,34±0,24	2,01±0,52	3,23±0,37
Sum UFA	57,99±6,35	51,30±1,90	47,80±0,72	68,58±3,98	63,92±0,84	56,91±4,69
16:2(n-9)	0,35±0,10	0,27±0,08	0,50±0,30	0,11±0,00	0,23±0,10	0,06±0,04
Sum (n-9)	0,35±0,10	0,27±0,08	0,50±0,30	0,11±0,00	0,23±0,10	0,06±0,04
14:2(n-5)	0	0,05±0,03	0	0	0	0
16:2(n-6)	0	0,08±0,03	0	0,17±0,03	0,12±0,01	0,24±0,08
16:3(n-6)	0	0,42±0,23	0,37±0,34	0,19±0,03	0,18±0,03	0,21±0,03
18:2(n-6)	1,50±0,19	1,47±0,08	1,75±0,07	1,70±0,03	1,85±0,06	1,93±0,02
18:3(n-6)	1,14±0,36	0,13±0,04	0,14±0,11	0,32±0,09	0,14±0,01	0,40±0,14
20:2(n-6)	0,22±0,05	0,15±0,03	0,19±0,12	0,14±0,07	0,11±0,05	0,21±0,09
20:3(n-6)	0,27±0,06	0,29±0,09	0,31±0,22	0,31±0,04	0,29±0,06	0,17±0,03
20:4(n-6)	0,29±0,10	0,42±0,18	2,72±2,22	0,17±0,01	0,18±0,02	0,17±0,01
22:3(n-6)	2,02±0,67	0,24±0,15	0,66±0,45	0	0	0
Sum (n-6)	5,44±0,95	3,25±0,41	6,13±2,45	3,00±0,33	2,87±0,13	3,33±0,40
16:3(n-3)	0,22±0,07	0,23±0,04	0,09±0,05	0,23±0,06	0,14±0,03	0,43±0,07
16:4(n-3)	0	0,07±0,02	0,04±0,02	0,11±0,08	0,09±0,02	0,26±0,09
18:3(n-3)	0,97±0,00	0,87±0,07	1,09±0,13	0,89±0,07	0,96±0,10	1,15±0,05
18:4(n-3)	3,25±0,91	4,61±0,34	4,43±2,22	4,51±0,75	2,71±0,86	6,41±0,78
20:3(n-3)	0,27±0,27	0,13±0,04	0	0,17±0,04	0,04±0,02	0,18±0,06
20:4(n-3)	0,83±0,18	1,67±0,30	0,68±0,14	0,77±0,07	0,58±0,06	0,93±0,08
20:5(n-3)	4,43±2,09	6,62±1,09	7,88±0,29	4,07±0,44	4,64±0,24	4,01±0,66
22:4(n-3)	0,06±0,06	0,32±0,16	0,21±0,09	0,08±0,58	0,05±0,04	1,99±0,69
22:5(n-3)	0,32±0,08	0,56±0,09	3,94±3,48	0,45±0,04	0,65±0,35	0,34±0,01
22:6(n-3)	5,21±2,88	8,26±1,00	5,68±2,82	3,87±1,01	3,94±0,35	4,91±1,71
Sum (n-3)	15,58±6,05	23,33±2,15	24,04±1,51	15,15±1,00	13,80±1,30	20,60±1,06
Sum PUFA	21,36±5,19	27,14±1,97	30,68±0,83	18,26±1,01	16,85±1,38	24,00±1,42
Total FA	100	100	100	100	100	100
22:1/20:1	0,91±0,03	0,85±0,00	0,60±0,02	0,72±0,00	0,88±0,01	0,86±0,02

*Acknowledgements: This work are supported by grands 08-04-98843r\_sever\_a from RFBR, 08-04-01140-a from RFBR, 08-04-01691 from RFBR, STATOIL ARCTOS Programm, University centre in Svalbard, Norwegian Polar Institute, The Scottish Association for Marine Science*

## **LIFE HISTORY ASPECTS OF *LEPTOCLINUS MACULATUS* (STICHAEIDAE: LUMPENINAE) IN NORWEGIAN ARCTIC WATERS**

**Camilla Ottesen<sup>1</sup>, Svetlana A. Murzina<sup>2</sup>, Haakon Hop<sup>3</sup>, Stig Falk-Petersen<sup>3</sup>,  
Jørgen Schou Christiansen<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>University of Tromsø, N-9037 Tromsø, Norway, e-mail: camilla.ottesen@uit.no

<sup>2</sup>Institute of Biology, Karelian Research Centre RAS, Petrozavodsk, 185640, Russia

<sup>3</sup>Norwegian Polar Institute, N-9296 Tromsø, Norway

The species daubed shanny (*Leptoclinus maculatus*) is among the most abundant fish species in the epibenthic ichthyofauna of the Arctic waters of Norway, particularly in Svalbard fjords. Both larvae and adults have been found in relative high abundances along the ice edges inside fjords as well as the ice edge of North-East Svalbard, and thrive at temperatures below 0°C. This species is likely an important component of Arctic food chain leading up to seabirds, but the life history of this species is still largely unknown. This study has resolved several life history aspects, including sex, size and age distribution, growth, age at maturity and reproduction. Samples of *L. maculatus* were obtained from: Kongsfjorden, Isfjorden and its side-branches, Smeerenburgfjorden, Hinlopenstredet and Storfjorden. We also sampled specimens from the north-east ice edge of Svalbard, the southern Spitsbergen and the Barents Sea south to Bjørnøya. The sampling extended from April to October, and the material was pooled since there were no significant differences among areas or month of sampling except for reproduction. *Leptoclinus maculatus* is sexually dimorphic in size, growth and age of maturity. The populations are generally dominated by males. Length-weight relationship revealed that the males grow to a larger size than females (124 mm versus 113 mm), and both sexes have a positive allometric growth. There was no differences in age distribution between the sexes, but size-at-age analysis (von Bertalanffy growth function) showed that males are larger than the females at the same age and achieve a longer asymptotic length than the females. Age at maturity is about 4 years for males and 6 years for females. The gonadosomatic index of females increased from <5% in May to 20% in October. Histological investigations have shown that vitellogenesis and maturation phase occur in female ovaries at the end of October. Thus, spawning seems to take place in early winter, likely from November to January. Like most benthic fishes, *L. maculatus* has low fecundity and possesses large eggs. Differences in size-at-age and growth are likely to be caused by differential investment into reproduction, with females producing large, lipid rich eggs. During oogenesis, the quality and quantity of lipids in female gonads changed seasonally where increasing of phospholipids and triacylglycerols in ovaries (main classes of structural and energetic lipids) were important for growth and development of embryos. Both ovaries and liver were rich in lipids and raised from late winter to autumn from 32.7±2.1% to 78.5±4.3% and from 32.7±5.2% to 57.5±5.2% in the respective tissues. Triacylglycerols were the dominant neutral lipid during all seasons. The larvae migrate to the upper water layers, where they live pelagically for two years feeding on zooplankton in the summer and utilizing lipids stored in a large lipid sac during winter. When the lipid sac is depleted, the juveniles descend to the bottom and start a benthic life.

## TIMING OF OMEGA-3 FATTY ACID PRODUCTION IN MARINE ECOSYSTEMS: A KEY FACTOR IN A CHANGING ARCTIC

Janne E. Søreide<sup>1</sup>, Eva Leu<sup>2</sup>, Jørgen Berge<sup>1</sup>, Martin Graeve<sup>3</sup>, Stig Falk-Petersen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>The University Centre in Svalbard, P.O. Box 156, N-9171 Longyearbyen, Norway

<sup>2</sup>Norwegian Polar Institute, 9296 Tromsø, Norway

<sup>3</sup>Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, Am Handelshafen 12, 27570 Bremenhaven, Germany

Sea ice plays a dual role for the primary production in the high Arctic, both by providing a habitat for ice algae and by regulating the available light for primary production. As the window of opportunity for primary production becomes progressively narrowed at higher latitudes, the timing of the pulse of the essential omega-3 fatty acids, produced exclusively by marine algae, becomes increasingly imperative for all marine organisms. Through a unique field campaign at 80°N, we document how sea ice allows for two temporally distinct peaks in pulses of energy and omega-3, one in sea ice and one pelagically. These long-chained polyunsaturated fatty acids (PUFAs), play a key role in reproduction, growth and physiology for all organisms in marine ecosystems, as well as for human health. In this study we show how the herbivorous copepod *Calanus glacialis*, a key-species in Arctic shelf seas accounting for up to 70% of the zooplankton biomass there, is perfectly adapted to ice-covered conditions with two distinct peaks in PUFAs. *Calanus glacialis* optimally times its reproduction, growth and seasonal migration to the two PUFA-peaks. Our results show that females efficiently use the PUFAs available in ice algae for early reproduction, thereby enabling the first feeding stages of the new generation to take advantage of the second PUFA-peak during the phytoplankton bloom. The predicted reduced extent and thickness of the Arctic ice cap will, however, change the timing and magnitude of the current spring bloom regime, leading to a mismatch between primary production and the life-history adaptations of *C. glacialis*. We therefore conclude this will have a negative impact on the secondary production in Arctic shelf areas, ultimately weakening the efficient transport of metabolic energy to higher trophic levels such as fish, sea birds and marine mammals.



Н а у ч н о е   и з д а н и е

**БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ  
БЕЛОГО МОРЯ И ВНУТРЕННИХ ВОДОЕМОВ  
ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА**

*Материалы XXVIII Международной конференции  
5–8 октября 2009 г.  
г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия*

*Печатается по решению Ученого совета  
Учреждения Российской академии наук Института биологии  
Карельского научного центра РАН*

*Издано в авторской редакции*

Сдано в печать 21.09.09.  
Формат 60х84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Гарнитура Times. Печать офсетная.  
Уч.-изд. л. 69,5. Усл. печ. л. 72,3. Тираж 150 экз.  
Изд. № 48. Заказ 816

Карельский научный центр РАН  
Редакционно-издательский отдел  
Петрозаводск, пр. А. Невского, 50